FRANKLIN INSTITUTE LIBRARY
PHILADELPHIA, PA.

Class 666.9 Book V582

Accession 53540

REFERENCE

Given by Mr. Morris Ebert

MORRIS EBERT,
302 WALNUT STREET,
PHILADELPHIA.

Deutsche Portland-Cement- und Beton-Industrie

auf der

Düsseldorfer Ausstellung 1902.

Herausgegeben

vom

„Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten"

und dem

„Deutschen Beton-Verein."

FRANKLIN INSTITUTE
PHILADELPHIA

Druck von AUGUST SCHERL G. m. b. H.
BERLIN.

CONS
TP
883
D48
1902

Ueberreicht

von

.....

Die Deutsche Portland-Cement- und Beton-Ausstellung Düsseldorf 1902.

VORWORT.

Eine der unentbehrlichsten Bedingungen des Fortschritts in jeder Industrie ist der freie Wettbewerb, das fortgesetzte Streben des einen Industriellen, den anderen an Güte und Billigkeit der erzeugten Ware zu übertreffen. Hierfür muss der Einzelne seine Kraft und sein Können einsetzen.

Für viele andere Aufgaben, deren Erfüllung für das Gedeihen einer Industrie von Wert ist, reichen jedoch die Kräfte des Einzelnen nicht aus, und nur einmütiges Zusammengehen Aller kann dann zum Ziele führen.

Eine solche Aufgabe erstand der deutschen Portland-Cement- und Betonindustrie in dem Wunsche der Beschickung der Kunst- und Industrie-Ausstellung zu Düsseldorf.

Angeregt und in Angriff genommen von dem jungen deutschen Betonverein fand der Ausstellungsgedanke opferwillige Zustimmung und Mitarbeit im Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten, welcher in dem Ausstellungsjahre auf eine 25jährige, von den schönsten Erfolgen gekrönte Thätigkeit zurückblickt.

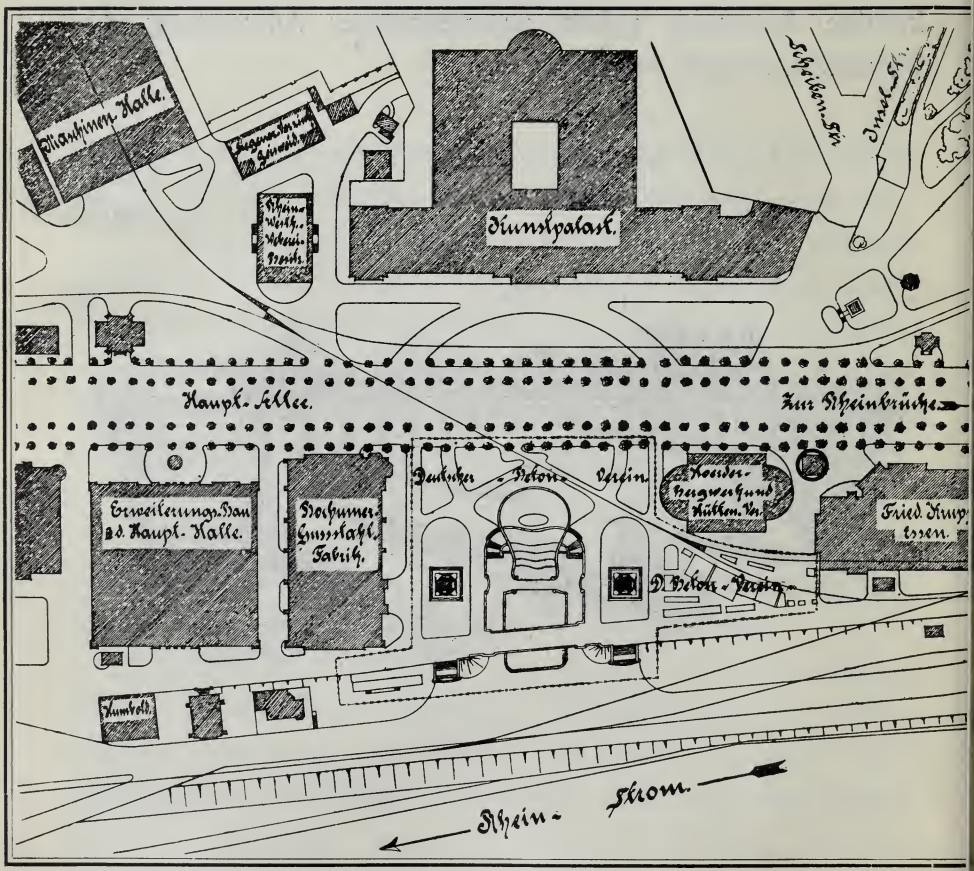
Den Rahmen für das Wollen und Können beider Vereine schuf die Künstlerhand des Düsseldorfer Architekten Albrecht Bender, nach dessen Plänen und Modellen die Ausstellung angeordnet wurde.

Mögen die Darbietungen der Vereine, namentlich diejenigen monumentalen Werke, die zu dauernder Erhaltung bestimmt sind, wie auch dieses Buch, Marksteine bilden für die Entwickelung der Cement-Industrieen, mögen sie beitragen zur Erweiterung der Kenntnis des Portland-Cementes und seiner Verarbeitung, die Kunde von den Leistungen der deutschen Cement- und Betonindustrie hinaustragen in alle Lande und kräftige Anregung geben zu vermehrter Anwendung des Portland-Cementes im Bauwesen.

53540

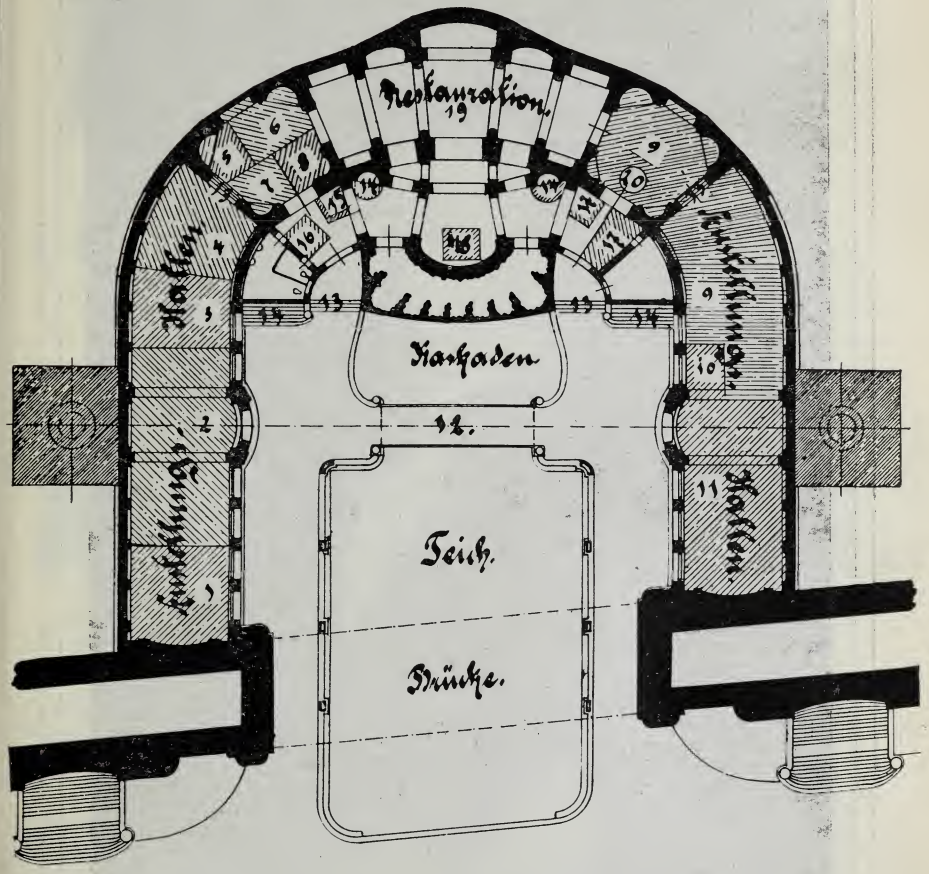
Lageplan

der Ausstellung des Deutschen Beton-Vereins vor dem Kunstpalast.

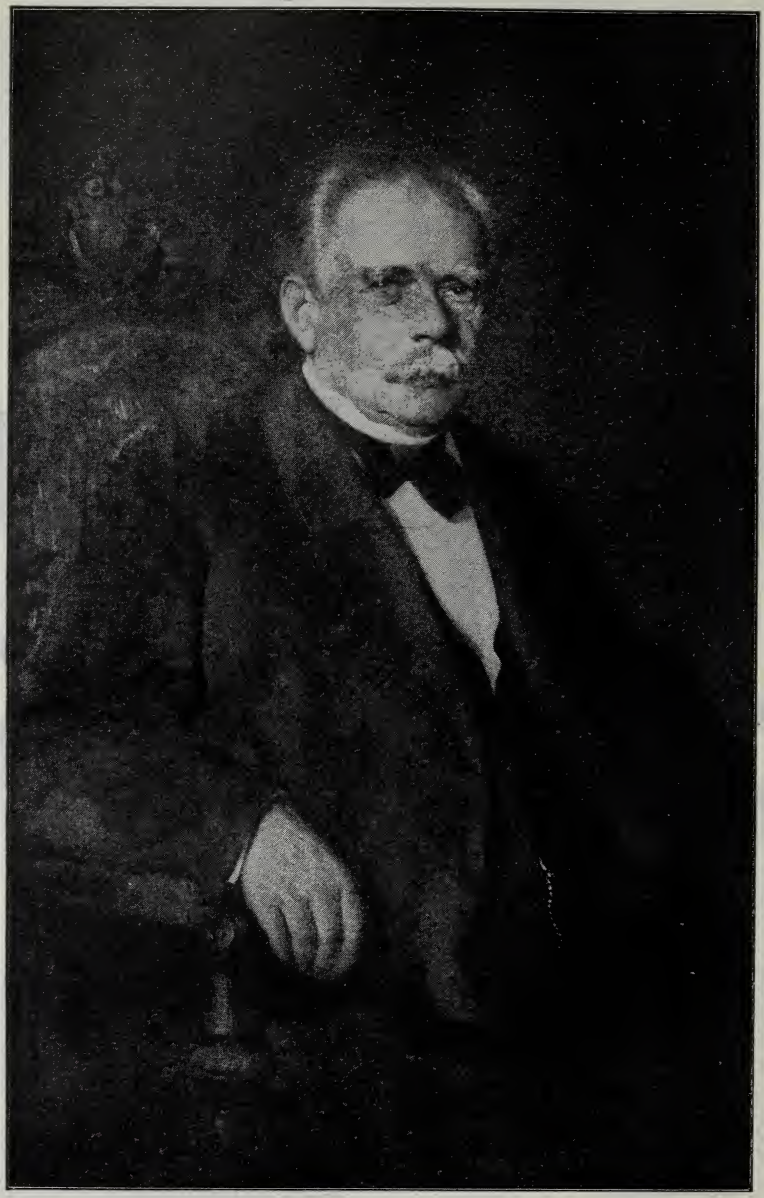


Grundriss der Ausstellungshallen

mit den Plätzen der Aussteller.



1. Hüser & Cie.
2. Wayss & Freytag, A.-G.
3. A. Thormann & J. Stiefel.
4. B. Liebold & Cie., A.-G.
5. Joh. Odorico.
6. Dücker & Cie.
7. Franz Schlüter.
8. Karl Brandt.
9. Verein Deutscher Portland-Cementfabrikanten.
10. Vertreter.
11. Dyckerhoff & Widmann.
12. A.-G. für Beton u. Monierbau.
13. F. Schulte-Oesterich.
14. J. Simonis.
15. Gebr. Huber.
16. Professor Möller.
17. E. Schwenk.
18. J. Lohsenhausen (Pumpe)
19. Leipz. Cementindustrie (Beläge)
20. H. Reinarz (Beläge)



Geh. Kommerzienrat Dr. Delbrück †

Weiland Ehrenpräsident des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten.

I. Die Entwickelung der Portland-Cement-Industrie in Deutschland.

Die Anwendung unter Wasser (hydraulisch) erhärtender Mörtel zu Wasserbauten ist eine sehr alte; wandten doch bekanntlich schon die Römer derartige Mörtel, (Mischungen aus vulkanischen Aschen, Santorinerde, Puzzolanerde) mit gelöschtem Kalk zu ihren Bauten an.

Um die Mitte des 18. Jahrhunderts schritt man in England, dessen maritime Lage besonders zahlreiche Wasserbauten bedingte, dazu, hydraulische Kalke und Cemente durch Brennen natürlicher Kalksteine herzustellen, und ein englischer Ingenieur John Smeaton fand, dass besonders diejenigen Kalksteinsorten sich hierzu eigneten, welche beim Lösen in Salpetersäure einen thonigen Rückstand hinterliessen.

Erst 50 Jahre später zog ein französischer Chemiker, Vicat, die logische Folgerung aus dieser Beobachtung und schritt zur Herstellung künstlicher Mischungen aus gebranntem durch Ablöschen in feines Pulver verwandeltem Kalk und Thon, fand aber wenig Beachtung. Im Jahre 1824 beobachtete ein englischer Maurer Joseph Aspdin in Leeds, dass eine nach bestimmtem, empirisch ermittelten Verhältnisse hergestellte innige Mischung von gemahlener Kreide und Thonschlick des Medwayflusses, bei hoher Temperatur gebrannt und gepulvert, ein unter Wasser erhärtendes Bindemittel lieferte, welches an Erhärtungsenergie alle bis dahin gekannten hydraulischen Bindemittel übertraf, und welchem er wegen seiner schönen grauen, dem in England für Bauzecke sehr geschätzten Portlandsteine ähnlichen Farbe, den Namen

„Portland-Cement"

gab. Die Beschreibung des von Aspdin am 21. Oktober 1824 in England genommenen Patentes (siehe Feichtinger chem. Technologie der Mörtelmaterialien Seite 105) lautet:

„Der Schlamm oder Staub von mit Kalkstein gepflasterten Wegen oder wenn dieses Material nicht in genügender Menge zu haben ist, Kalkstein gebrannt und gelöscht, wird mit einer bestimmten Menge Thon mit Hülfe von Wasser durch Handarbeit oder irgendwelche Maschinen zu einem unfühlbaren Brei vermischt; die plastische Masse wird getrocknet, dann in Stücke zerbrochen und in einem Kalkofen gebrannt; das gebrannte Produkt wird durch Mahlen, Kollern oder Stampfen in Pulver verwandelt, und ist zum Gebrauche fertig".

Mit unwesentlichen, den Kern der Sache nicht berührenden Aenderungen, ist dieses Fabrikationsverfahren bis heute beibehalten. Statt des Schlammes oder Staubes von mit Kalkstein gepflasterten Wegen, wurde natürlich bald Schlamm oder Staubmehl aus Kalkstein mit Maschinen erzeugt, und die Stelle der Ermittelung des Thonzusatzes auf empirischem Wege nahm bei uns in Deutschland sehr bald die Berechnung auf Grund genauer chemischer Analyse ein.

Im Jahre 1855 errichtete Dr. Hermann Bleibtreu die erste deutsche Portland-Cement-Fabrik in Stettin. Die Fabrik war auf eine Produktion von jährlich 25000 Fass Portland-Cement eingerichtet. Gewiegte Geschäftsleute schüttelten bedenklich den Kopf, glaubte man doch, dass es nicht möglich sein würde, diese damals ungeheuer gross erscheinende Menge in Deutschland abzusetzen.

Das Fabrikationsverfahren war ein sehr einfaches. Kreide wurde in Rührbottichen mit Wasser in einen dicken Schlamm verwandelt, durch Handarbeit mittelst der Schaufel mit dickem Thonbrei gemischt, die Masse getrocknet und in periodischen Oefen mit Koks gebrannt. Der gebrannte Cement wurde mit Hämmern zerschlagen, auf Walzen mit Federn aus Eschenholz weiter zerdrückt und auf Mahlgängen gemahlen.

Der damalige Verkaufspreis von 1 Friedrichsdor für ein Fass = M. 15,20 nach unserem Gelde deckte kaum die Gestehungskosten.

Unter der ausgezeichneten Leitung Dr. Hugo Delbrücks machte die Fabrik jedoch bald grosse Fortschritte und es entstanden weitere Fabriken in Obercassel bei Bonn, ebenfalls erbaut durch Dr. Bleibtreu, und in Lebbin, erbaut durch Quistorp. Letztere Fabrik fing noch kleiner an. Der gebrannte Cement wurde von Arbeitern in eisernen Mörsern gestossen, auf Handsieben abgesiebt und sodann in Fässer gepackt.

Mit der ortschreitenden Anerkennung des deutschen Fabrikates im Inlande entstanden weitere Fabriken in Lüneburg, Biebrich a. Rh. und Mannheim, die erfolgreich den Wettbewerb mit dem aus England noch in grossen Mengen eingeführten Portland-Cemente aufnahmen.

Im Jahre 1876, nach etwa 20 Jahren, betrug die jährliche Produktion von Portland-Cement in Deutschland bereits etwa 1 Million Fass.

Von einer Prüfung des Materials war damals kaum die Rede. Man beurteilte die Güte nach der Farbe und der Griffigkeit des Mehles

beim Reiben zwischen den Fingerspitzen. Aus grünlichgrauer oder bläulichgrauer Farbe und scharfkörnigem Mehl schloss man auf gute Qualität, gelbliche Farbe und weiches Mehl wurden als Zeichen für Schwachbrand angesehen.

Mit der steigenden Verwendung machte sich indessen das Bedürfniss nach sorgfältigen Prüfungsverfahren mehr und mehr geltend und es bedeutete einen gewaltigen Fortschritt, als im Jahre 1876 auf Veranlassung des Direktors der Stettiner Portland-Cementfabrik Dr. Delbrück ein Ausschuss zusammentrat, bestehend aus einer Anzahl Cementfabrikanten, Mitgliedern des Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaren, Kalk und Cement, der einen ersten Entwurf fertigte für „Normen zur einheitlichen Lieferung und Prüfung von Portland-Cement". Dieser Entwurf wurde dann in gemeinsamen Sitzungen von Vertretern des Architekten-Vereins zu Berlin, des Vereins Berliner Bau-Interessenten „Berliner Baumarkt", des Deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaren, Kalk und Cement und des gleichzeitig bei diesem Anlasse in's Leben gerufenen Vereins deutscher Cement-Fabrikanten mit geringen Aenderungen angenommen, in Druck gegeben und allen Behörden zur Annahme empfohlen.

Die in den „Normen" festgesetzten Anforderungen an die Eigenschaften des Materials waren nach unseren heutigen Begriffen sehr gering. Es wurde verlangt, dass der Cement so fein gemahlen sei, dass er auf einem Siebe von 900 Maschen auf 1 qcm höchstens 25 pCt. Rückstand hinterliess.

Für den Mörtel aus 1 Gewichsteil Cement und 3 Gewichtsteilen Sand wurde nach 28tägiger Erhärtung unter Wasser eine Zugfestigkeit von 8 kg/qcm verlangt, entsprechend der Festigkeit eines gut gebrannten Backsteines.

Im Jahre 1878 setzte, einem Gesuche des Vereins deutscher Cementfabrikanten folgend, der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten in Preussen einen Ausschuss zur Prüfung der „Normen" ein, die dann durch Ministerialerlass vom 10. November 1878 für alle öffentlichen Bauten in Preussen vorgeschrieben wurden. Nach den Beschlüssen dieses Ausschusses waren die Anforderungen erhöht. Die Mahlung sollte so fein sein, dass nicht mehr als 20 pCt. Rückstand beim Absieben mit dem Siebe von 900 Maschen auf 1 qcm blieben und die Zugfestigkeit des Mörtels 1 Cement + 3 Sand nach 28tägiger Erhärtung unter Wasser sollte mindestens 10 kg/qcm betragen. Zur Entscheidung von Streitigkeiten zwischen Baubeamten und Cementfabrikanten über die Güte gelieferter Cemente bestimmte der Herr Minister der öffentlichen Arbeiten in Preussen durch Runderlass vom 16. Dezember 1880 die Königliche Prüfungsstation für Baumaterialien in Berlin, die jetzige Königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt.

Am 24. Januar 1877 traten im Anschluss an die Versammlung des deutschen Vereins für Fabrikation von Ziegeln, Thonwaren, Kalk und Cement 23 Cementfabriken zusammen zur Bildung des „Vereins deutscher Cementfabrikanten". Zum Vorsitzenden wurde Herr Dr. Hugo Delbrück gewählt, der dieses Amt 22 Jahre lang bekleidete und unter dessen vorzüglicher Leitung der Verein und mit ihm die deutsche Portland-Cement-Industrie sich zu ungeahnter Blüte entwickelte.

Die in den „Normen" gegebenen Prüfungsvorschriften gestatteten nunmehr eine sichere Beurteilung der Güte des Produktes, die durch den Wetteifer der Fabrikanten eine rasche Steigerung erfuhr.

Die Ueberlegenheit des deutschen Fabrikates über das englische konnte nun klar nachgewiesen werden, und der bis Mitte der siebenziger Jahre in allen Hafen- und Rheinstädten noch bevorzugte englische Portland-Cement verschwand schnell vom deutschen Markte.

Heute wird deutscher Portlandcement nicht nur nach allen Ländern der Welt ausgeführt, sondern sogar in erheblichen Mengen in das Ursprungsland nach England selbst gebracht. Auch hier siegte der deutsche Schulmeister.

Während in Englands Fabriken noch lange Zeit auf Grund empirischer Brennproben gearbeitet wurde, hatte jede deutsche Fabrik von vornherein ihren akademisch gebildeten Chemiker. Alle wichtigen Fragen, namentlich die wissenschaftlicher Natur, wurden im Verein Deutscher Cementfabrikanten, der alljährlich im Februar in Berlin seine Generalversammlung abhält, erörtert und, wenn nötig, in Sonderausschüssen eingehend bearbeitet.

Die von Jahr zu Jahr umfangreicher gewordenen Protokolle der Generalversammlungen des Vereins, der am 23. Februar 1902 in Berlin sein 25jähriges Stiftungsfest feierte, geben Zeugnis von der Summe der Arbeit, die in diesen 25 Jahren geleistet wurde.

Ein grosses Verdienst erwarb sich der Verein, als er im Jahre 1885 dem unlauteren Geschäftsgebahren einiger Fabriken entgegentrat, welche minderwertige Stoffe, wie gemahlenen Kalkstein und Hochofenschlackenmehl, ihrem Fabrikate zumischten.

Damals wurde folgende Erklärung einstimmig beschlossen:

Erklärung.

Die unterzeichneten Fabriken sehen sich veranlasst, gegenüber der Thatsache, dass bereits seit mehreren Jahren verschiedene Cementfabriken dem Portland-Cement nach dem Brennen fremde Körper zumischen und diese Mischung trotzdem unter dem Namen „Portland-Cement" in den Handel bringen, nachstehende Erklärung abzugeben:

1. Portland-Cement ist ein Produkt, entstanden durch innige Mischung von kalk- und thonhaltigen Materialien als wesentlichsten Bestandteilen, darauf folgendem Brennen bis zur Sinterung und Zerkleinerung bis zur Mehlfeinheit.

2. Jedes Produkt, welches auf andere Weise entstanden ist, als ad 1. angegeben, oder welchem während oder nach dem Brennen fremde Körper beigemischt sind, ist nicht als Portland-Cement zu betrachten und der Verkauf derartiger Produkte unter der Bezeichnung „Portland-Cement“ ist als eine Täuschung des Käufers anzusehen.
3. Die von anderer Seite behauptete Verbesserung der Zug- und Druckfestigkeit von Cement durch Zuschläge, Kompositionen usw. ist um dessentwillen in dieser Frage nicht als entscheidend zu betrachten, weil:
    a) die bei den Versuchen im Laboratorium gefundenen Festigkeits-Steigerungen durch Zusatz von Stoffen erzielt sind, deren Ursprung nicht bekannt gegeben ist, von welchen es darum nicht feststeht, ob sie mit den von den mischenden Fabriken in Wirklichkeit zugesetzten Stoffen identisch sind,
    b) die Prozente der Zumischung bei den Versuchen geringe Sätze nicht überstiegen haben, während die gemischten Cemente des Handels bis 50 pCt. fremde Körper enthalten,
    c) die in Wirklichkeit bisher von den mischenden Fabriken zugesetzten Körper, wie Hochofenschlacke, Thonschiefer, Porzellanerde, hydraulischer Kalk u. dergl. thatsächlich den Cement in vielen Beziehungen verschlechtern.
4. Das Verfahren der Mischung ist geeignet, das Vertrauen des Publikums zu dem Portland-Cement vollständig zu erschüttern, da dasselbe nicht im Stande ist, den Grad der Zumischung und die Qualität des zugemischten Stoffes zu erkennen und zu prüfen.
5. Die unterzeichneten Firmen verpflichten sich unter einander und gegenüber ihren Abnehmern nur solche Ware unter dem Namen „Portland-Cement“ zu verkaufen, welche den Bestimmungen sub 1. entspricht.

Dieser Erklärung traten sämtliche deutschen Fabriken bis auf 3 bei, welche einige Jahre später ebenfalls ihr Mischverfahren aufgaben.

Im Jahre 1886 wurden die „Normen“ abermals revidiert. Die Anforderungen waren so gesteigert, dass die Zugfestigkeit für Mörtel aus 1 Teil Cement und 3 Teilen Sand nach 28tägiger Erhärtung im Wasser mindestens 1 kg/qcm betragen musste. Gleichzeitig wurde die Prüfung auf Druckfestigkeit eingeführt und eine solche von mindestens 160 kg/qcm entsprechend der Zugfestigkeit von 16 kg/qcm gefordert. Durch Ministerialerlass vom 28. Juli 1887 kamen die neuen Normen zur Einführung.

In seiner Sonderausstellung bringt der Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten die zur Ausführung des Prüfungsverfahrens nach den zur Zeit geltenden Normen erforderlichen Apparate und Maschinen, sowie das Prüfungsverfahren selbst zur Darstellung. Die Verfahren

zur Benutzung der Apparate und Geräte sind in dem folgenden Abschnitte II geschildert.

Im Jahre 1889 änderte der Verein seine Satzungen und seinen Namen in „Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten“ und die Mitglieder stellten sich bezüglich der Verpflichtung, unter der Bezeichnung „Portland-Cement“ nur eine nicht mit fremden Stoffen vermischte Ware zu liefern, unter die Kontrole des Vereinsvorstandes, welcher das Recht erhielt, zuwiderhandelnde Fabriken aus dem Verein unter öffentlicher Bekanntgabe dieser Thatsache auszuschliessen. Im Jahre 1898 wurde die Verpflichtung auf die Lieferung von in jeder Beziehung normengemässem Portland-Cement ausgedehnt, und im Jahre 1902 den Mitgliedern das Recht gewährt, ihre Erzeugnisse durch die nachstehend abgebildete Vereinsmarke zu kennzeichnen.

Mit der Verbesserung der Eigenschaften des Portlandcementes und der Erhöhung seiner Zuverlässigkeit wuchs seine Verwendung in ungeahntem Masse. Während man früher Mischungen von 1 Teil Cement zu 3 Teilen Sand für Mörtel und 1 Teil Cement zu 5 – 6 Teilen

Kies und Steinschlag für Beton kaum zu überschreiten wagte, ging man auf Grund sorgfältiger Prüfungen nun zu Mischungen von 1 Teil Cement zu 5 Teilen Sand für Mörtel und 1 Teil Cement zu 15 – 16 Teilen Kies und Steinschlag für Beton über. Die Befürchtung, dass dadurch der Verbrauch abnehmen würde, zeigte sich als völlig grundlos; das Gegenteil trat ein. Mitwirkend war hierbei die stetige Verbilligung des Produktes durch die Fortschritte im Maschinenbau, welche die Cementindustrie sich schnell zu Nutze machte, und durch Erfindung neuer Ofenkonstruktionen.

Jahr	Zahl der Fabriken	Versandter Cement in Fass à 170 kg		Durchschnittsproduktion einer Fabrik
		Fass	Anteile	Fass
1877	29	2 200 000	44	76 000
1878	29	2 200 000	44	76 000
1879	29	2 200 000	44	76 000
1880	29	2 250 000	45	78 000
1881	35	2 600 000	52	74 000
1882	37	2 850 000	57	75 000
1883	36	4 100 000	82	114 000
1884	38	4 500 000	90	118 000
1885	42	5 050 000	101	120 000
1886	42	5 700 000	114	156 000
1887	45	7 050 000	141	153 000
1888	52	8 000 000	160	150 000
1889	60	9 000 000	180	153 000
1890	60	9 150 000	183	163 000
1891	62	10 100 000	202	166 000
1892	60	10 000 000	200	173 000
1893	64	10 400 000	208	183 000
1894	64	11 150 000	223	198 000
1895	63	12 500 000	250	199 000
1896	63	12 550 000	251	207 000
1897	65	13 450 000	269	253 000
1898	70	17 750 000	355	251 000
1899	75	18 850 000	377	249 000
1900	82	20 450 000	409	249 000
1901	85	19 500 000	390	229 000

Einen gewaltigen Fortschritt bedeutet z. B. die Anwendung unserer heutigen Tripelexpansionsmaschine gegenüber der alten eincylindrigen Hochdruckmaschine, unserer heutigen Kugel- oder Griffinmühle gegenüber dem alten Oberläufermahlgang mit Sieberei, des Dietzsch-Ofens oder Schneider-Ofens oder Drehrohr-Ofens gegenüber dem alten periodisch abgebrannten Schachtofen!

Während im Anfang der siebenziger Jahre bei Preisen von 13 bis 14 Mark für ein Fass oft kaum die Gestehungskosten gedeckt wurden, werden heute bei auf mehr als die Hälfte gesunkenen Preisen noch befriedigende Betriebsergebnisse erzielt.

Der Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten, dem fast stets alle deutschen nebst einer Anzahl ausländischer Fabriken angehörten, erhebt die Beiträge seiner Mitglieder nach Anteilen von je 50000 Fass der jährlichen Versandtziffern der Fabriken. Die Zunahme der Zahl der Fabriken und des Cementverbrauches in Deutschland in den letzten 25 Jahren ergiebt sich aus vorstehender Tabelle.

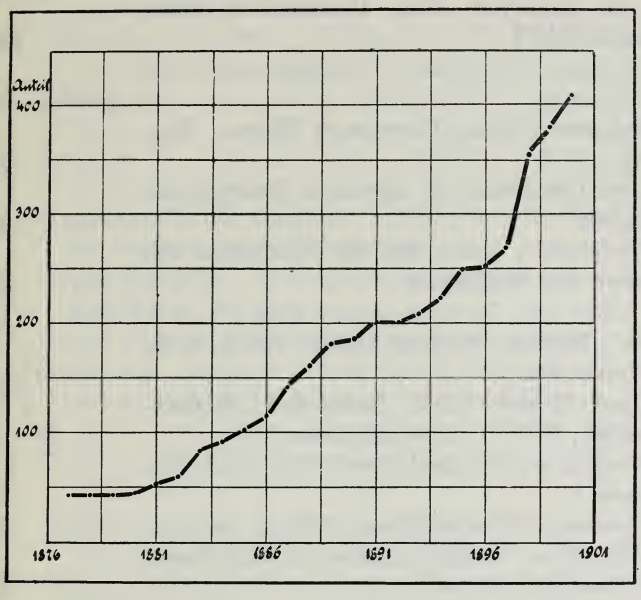
Ein paralleles Bild der Entwickelung der deutschen Cementindustrie liefert die folgende Tabelle, welche den statistischen Angaben der Steinbruchs-Berufsgenossenschaft entnommen ist, und alle, auch die kleinsten deutschen Cementfabriken umfasst.

Jahr	Anzahl der Cementfabriken	Anzahl der Vollarbeiter zu je 300 Arbeitstagen	Anrechnungspfl. Löhne in Mark
1886	124	11 883	8 263 437
1887	121	13 610	9 555 614
1888	146	15 352	11 108 539
1889	149	16 388	12 294 665
1890	159	19 174	14 839 656
1891	158	19 503	15 166 627
1892	151	18 390	14 321 797
1893	144	18 408	14 491 076
1894	139	18 257	14 140 263
1895	137	18 656	14 729 909
1896	135	21 101	17 030 196
1897	133	23 411	18 994 140
1898	138	24 890	21 670 114
1899	149	29 528	26 309 445
1900	159	31 371	28 256 043

Wie die Zahlen der ersten Tabelle beweisen, hat sich der Verbrauch von Portland-Cement im Laufe der letzten 25 Jahre fast verzehnfacht. Die Zahlen zeigen ferner den Uebergang der Industrie zum Grossbetriebe. Die Durchschnittsproduktion der einzelnen Fabrik ist heute mehr als 3 1/2 mal so gross als vor 25 Jahren.

Während damals nur zwei Fabriken mit einer Produktion von jährlich über 200 000 Fass bestanden, erzeugen heute 42 Fabriken, mehr als die Hälfte aller namhaften Grossbetriebe diese Menge; darunter befinden sich Werke mit einer Produktionsfähigkeit von jährlich über 1 Million Fass.

Steigerung der Cementerzeugung der deutschen Mitglieder des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten
von 1877—1901 in Anteilen von je 50000 Fass zu je 170 kg netto.



Die Ausstellung des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten (siehe Lageplan S. 6 No. 9) zeigt die verschiedenartigen Rohmaterialien, welche in Deutschland zur Portland-Cementfabrikation benutzt werden.

Aus allen diesen Materialien lässt sich mit Hülfe der chemischen Analyse und durch gewissenhafte Arbeit ein allen Anforderungen entsprechendes Fabrikat herstellen, wenn gleich gewisse, den Konsumenten wohlbekannte Unterschiede zwischen den einzelnen Marken stets bestehen bleiben werden.

Der deutsche Portland-Cement hat sich siegreich auf allen Märkten der Welt Eingang verschafft und erzielt überall die höchsten Preise

Der überseeische Export, welcher in den letzten Jahren durch die Entwickelung einer starken Portland-Cementindustrie in den Vereinigten Staaten von Nordamerika, einem der Hauptabsatzgebiete, einige Einbusse erlitt, betrug im verflossenen Jahre etwa 2 Millionen Fass.

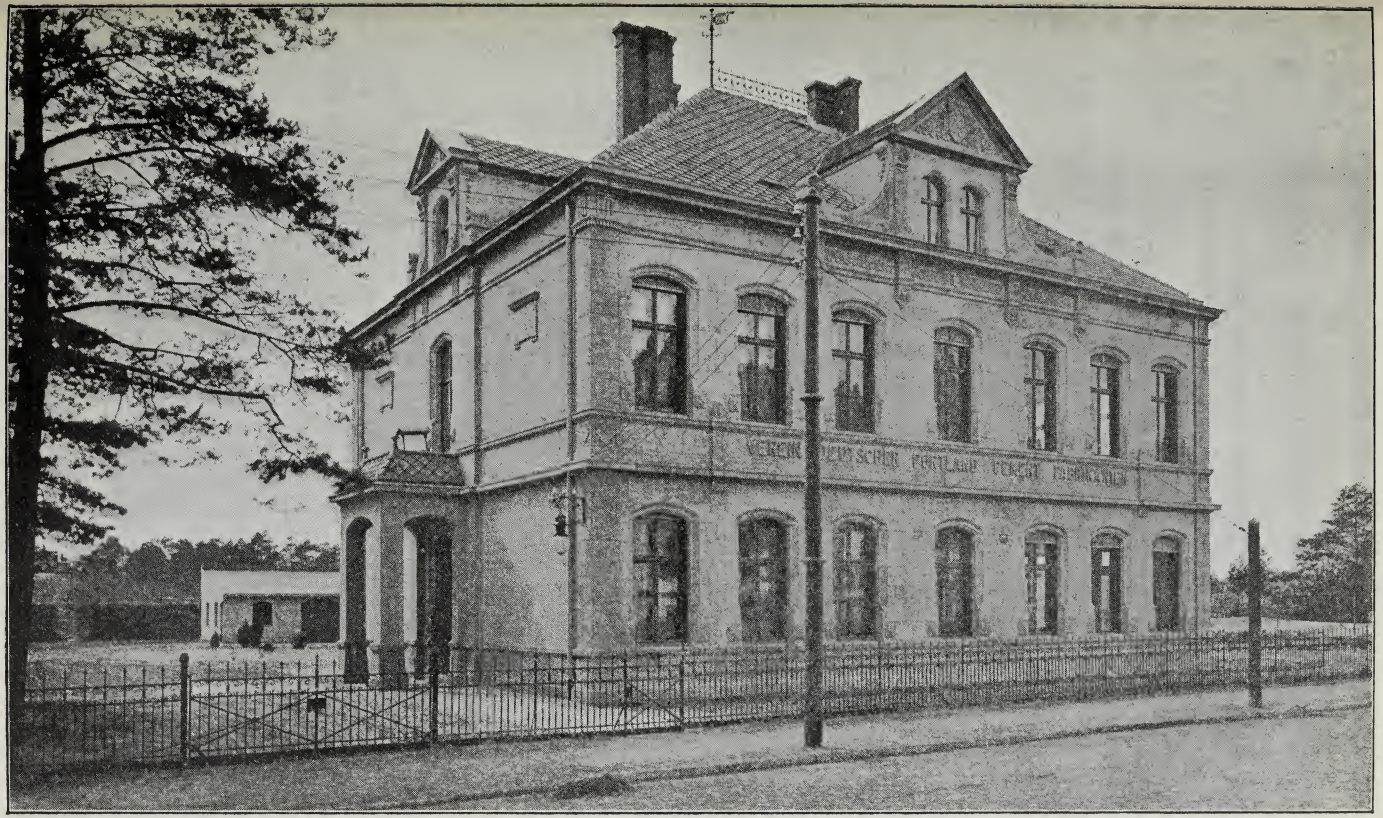
In Anbetracht der Thatsache, dass Portland-Cement aus fast wertlosen Stoffen, Thon und Kalkstein, hergestellt, somit fast der ganze Wert des Produktes durch die Arbeit neu erzeugt wird, und der ferneren Thatsachen, dass dieser Wert jährlich etwa 120 Millionen Mark beträgt, dass in der deutschen Portland-Cementindustrie Maschinen mit tausenden Pferdekräften arbeiten und über 30 000 Arbeiter mit einem Jahresverdienst von über 28 Millionen Mark beschäftigt sind, während in der durch sie entstandenen Cementwaren- und Betonfabrikation auch noch 7000 Arbeiter mit einem Jahresverdienst von 6 Millionen Mark beschäftigt werden, wird man dieser Industrie ihre Bedeutung nicht absprechen können. Sie drückt sich in Zahlen aus in dem

Mitgliederverzeichnis des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten.

1.	Aalborg. Aktieselskabet Aalborg, Portland-Cement-Fabrik .	Anteile:	6
2.	**Amöneburg bei Biebrich a/Rh. Dyckerhoff & Söhne, Portland-Cement-Fabrik**	„	20
3.	Bad Kösen. Sächsisch-Thüringische Actiengesellschaft für Kalksteinverwertung	Anteile:	6
4.	**Beckum. Beckumer Portland-Cementwerk Illigens, Ruhr und Klasberg**	„	3
5.	**Beckum. Actien-Gesellschaft für Rheinisch-Westphälische Cement-Industrie**	„	2
6.	**Beckum. „Westphalia", Actien-Ges. für Fabrikation von Portland-Cement und Wasserkalk**	„	2
7.	Berka a/Ilm. Actien-Ges., Portland-Cement-Werk	„	1
8.	**Berlin. „Adler", Deutsche Portland-Cement-Fabrik, S. O., Köpenickerstrasse 10a.**	„ 2	12
9.	**Berlin. Portland-Cement-Fabrik „Rüdersdorf", R. Guthmann & Jeserich, N. W. 7, Friedrichstrassse 138** . . .	„ 10	
10.	**Berlin. Stettin-Gristower Portland-Cement-Fabrik, Act.-Ges., W., Jägerstrasse 11**	„	6
11.	**Bernburg. Bernburger Portland-Cement-Fabrik, Act.-Ges.**	„	4
12.	**Bochum. Ennigerloher Portland-Cement- u. Kalk-Werke, Grimberg & Rosenstein, Act.-Ges.**	„	6
13.	Brakwede. C. Stockmeyer, Portland-Cement-Fabrik . . .	„	1
14.	**Breslau. Gogolin-Gorasdzer Kalk- und Cement-Werke** .	„	2
15.	Budapest. Vereinigte Ziegel- u. Cement-Fabriks-Act.-Ges. .	„	2
16.	**Budenheim a/Rh. Portl.-Cem.-Fabr., Fr. Sieger & Co., G.m.b.H.**	„	4
17.	**Büren (Westfalen). Bürener Portland-Cement-Werke, Act.-G.**	„	1
18.	Buxtehude. Brunckhorst & Krogmann Nachfolger, G.m.b.H., Portland-Cement-Fabrik	„	1
19.	**Cementfabrik bei Obercassel bei Bonn. Bonner Bergwerks- und Hütten-Verein**	„	4
20.	Copenhagen. Aktieselsabet „Cimbria"	„	2
21.	Diedesheim-Neckarelz. Portland-Cement-Werk Diedesheim-Neckarelz, Act.-Ges.	„	3
22.	Dresden. Sächsisch-Böhmische Portland-Cement-Fabrik in Tschischkowitz bei Lobositz i/Böhm.	„	5
23.	**Ennigerloh b. Beckum i.W. Poststation Neu-Beckum i.W. Portland-Cement-Werke „Rhenania", Act.-Ges.**	„	2
24.	Föhrde bei Brandenburg a. H. A. Neumann, Portland-Cement-Fabrik „Kurmark"	„	1
25.	Gartenau bei Salzburg. Gebr. Leube, Cement-Fabrik . .	„	3
26.	Geislingen-Steig. Portland-Cement-Werk Geislingen-Steig .	„	2
27.	Geseke (Westfalen). „Meteor", Act.-Ges. Geseker Kalk- und Portland-Cement-Werke	„	1

28.	Glöthe bei Förderstedt. Portl.-Cement-Werk „Saxonia", Act.-Ges., vorm. Heinr. Laas Söhne	Anteile:	4
29.	Göschwitz. Sächsisch-Thüringische Portl.-Cement-Fabrik, Prüssing & Co.	„	5
30.	**Gössnitz i. Sachsen. Portland-Cement-Fabrik Gössnitz, Act.-Ges.**	„	2
31.	Golleschau (Oestr. Schlesien). Golleschauer Portland-Cement-Fabrik	„	4
32.	Grodziec in Russisch-Polen. Portland-Cement-Fabrik „Grodziec"	„	2
33.	**Groschowitz bei Oppeln. Schlesische Actien-Gesellschaft für Portland-Cement-Fabrikation**	„	10
34.	**Gross-Strehlitz. Oberschlesische Portland-Cement- und Kalk-Werke, Act.-Ges.**	„	2
35.	Haiger (Nassau). Portland-Cement-Fabrik „Westerwald"	„	1
36.	**Halle a/S. Portland-Cement-Fabrik Halle a/S.**	„	4
37.	Hamburg. Alsen'sche Portland-Cement-Fabriken	„	25
38.	„ Portl.-Cem.-Fabrik Hemmoor, Steinstr., Posthof 14	„	15
39.	Hamburg. Lägerdorfer Portland-Cement-Fabrik, Bleichenbrücke 12, II.	„	3
40.	Hamburg. Portland-Cement-Fabrik „Saturn", Nobelshof (Fabrik in Brunsbüttelkoog, Holstein)	„	4
41.	**Hannover. Hannoversche Portland-Cement-Fabrik, Act.-Ges.**	„	7
42.	Hannover. „Teutonia", Misburger Portland-Cement-Werk	„	4
43.	**Hannover. Vorwohler Portland-Cement-Fabrik, Planck & Co., Theaterplatz 1**	„	6
44.	**Heidelberg. Portland-Cement-Werke Heidelberg und Mannheim, Act.-Ges.. Fabriken in Heidelberg, Nürtingen, Mannheim und Weisenau**	„	28
45.	**Höxter. Actien-Gesellschaft, Höxter'sche Portland-Cement-Fabrik, vormals J. H. Eichwald Söhne**	„	4
46.	**Höxter. Portland-Cement-Werke Höxter-Godelheim, Act.-Ges.**	„	4
47.	**Karlstadt a/Main. Portland-Cement-Fabrik Karlstadt a/Main, vorm. Ludwig Roth, Act.-Ges.**	„	6
48.	Kufstein (Tyrol). Eger & Lüthi, Portland-Cement-Fabrik Kirchbichl	„	4
49.	**Kupferdreh a/Ruhr. Narjes & Bender, Portland-Cement-Fabrik**	„	2
50.	Kuppenheim. Kuppenheimer Cement-Fabrik, Act.-Ges.	„	1
51.	Lägerdorf (Holstein). Breitenburger Portland-Cement-Fabrik	„	6
52.	**Lauffen a/Neckar. Württemb. Portland-Cement-Werk**	„	6
53.	Lédecz bei Illava (Ungarn). Lédeczer Portland-Cement-Fabrik und Kalkwerke des Adolf von Schenk-Lédecz	„	1
54.	**Lehrte. Portland-Cement-Fabrik „Germania", Act.-Ges.**	„	18
55.	Lengfurt a. M. Portland-Cement-Werke „Wetterau"	„	4

56. Linz a. d. Donau. Portland-Cement-Werk Kirchdorf, Hofmann & Co.	Anteile:	2
57. **Lüneburg. Portland-Cement-Fabrik, vorm. Heyn Gebrüder, Act.-Ges.**	„	7
58. Malmö. Skánska Cement Aktie Bolaget	„	5
59. **Malstatt bei Saarbrücken. C. H. Böcking & Dietzch, Portland-Cement-Fabrik**	„	4
60. **Metz. Lothringer Portland-Cement-Werke, Fabriken in Diesdorf und Heming**	„	7
61. **Misburg b. Hannover. Portland-Cement-Fabrik Kronsberg**	„	3
62. „ „ „ **Norddeutsche Portland-Cement-Fabrik**	„	6
63. München. Bayerisches Portland-Cement-Werk, Marienstein, Act.-Ges.	„	3
64. Münsingen. Süddeutsches Portland-Cement-Werk	„	2
65. **Münster i/W. Lengericher Portland-Cement- und Kalk-Werke**	„	4
66. **Neubeckum. Portland-Cement- und Wasserkalk-Werke „Mark“**	„	3
67. **Neustadt W/Pr. Preussische Portland-Cement-Fabrik**	„	2
68. Nieder-Ingelheim a/Rhein. Portland-Cement-Fabrik Ingelheim a/Rh., Act.-Ges., vorm. C. Krebs	„	5
69. **Offenbach a/Main. Offenbacher Portland-Cement-Fabrik, Act.-Ges.**	„	3
70. **Oppeln. Oberschlesische Portland-Cement-Fabrik**	„	8
71. „ **Oppelner Portland-Cement-Fabriken, vormals F. W. Grundmann**	„	7
72. **Oppeln. Portland-Cement-Fabrik, vormals A. Giesel**	„	5
73. Pahlhude. Portland-Cement-Fabrik u. Ziegelei, Act.-Ges.	„	1
74. **Porta. Bremer Portland-Cement-Fabrik Porta**	„	3
75. Port Kunda in Esthland. Portland-Cement-Fabrik zu Kunda	„	3
76. **Ravensburg. Gebrüder Spohn, Portland-Cement-Fabrik, Blaubeuren**	„	5
77. **Recklinghausen. Wicking'sche Portland-Cement- und Wasserkalkwerke**	„	5
78. **Regensburg. Portland-Cement-Fabrik und Kalkwerk „Walhalla“, D. Funk**	„	2
79. Saarburg i/Lothr. Heminger Portland-Cement-Werke, Act.-Ges.	„	3
80. Salder. Braunschweiger Portland-Cement-Werke zu Salder	„	2
81. San Antonio, Texas. Alamo Cement Co.	„	1
82. **Schimischow (Oberschlesien). Schimischower Portland-Cement- Kalk- und Ziegelwerke**	„	3



Laboratorium des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten zu Karlshorst.

83. Schönebeck a/Elbe. Mitteldeutsche Portland-Cement-Fabrik, Prüssing & Co., Commandit-Gesellschaft auf Actien . . **Anteile: 4**
84. Stettin. „Mercur", Stettiner Portland-Cement- und Thonwaaren-Fabrik, Act.-Ges. . . . . „ 1
85. **Stettin. Pommerscher Industrie-Verein auf Actien** . . . „ 10
86. **„ Portl.-Cem.-Fabrik „Stern", Toepffer, Grawitz & Co.** „ 6
87. **„ Stettiner Portland-Cement-Fabrik** . . . . . „ 6
88. **„ Stettin-Bredower Portland-Cement-Fabrik** . . . „ 4
89. **Stuttgart-Blaubeuren. Stuttgarter Cement-Fabrik Blaubeuren, Filiale des Stuttgarter Immobilien- und Baugeschäfts** . . . . . „ 9
90. **Ulm a/D. E. Schwenk, Portland-Cement-Fabrik** . . . . „ 5
91. Wesel. Weseler Portland-Cement- und Thonwerke . . . „ 1
92. **Wickede a. d. Ruhr. Wickeder Werke und Portland-Cement-Fabrik, G. m. b. H., Central-Bureau, Dortmund** . „ 2
93. Wickendorf bei Schwerin i. M. Portland-Cement-Fabrik Wickendorf b. Schwerin . . . . . „ 1
94. Wunstorf-Bahnhof. Wunstorfer Portland-Cement-Werke, Act.-Ges. . . . . „ 3
95. **Zollhaus (Bez. Wiesbaden). Portland-Cement- und Thonwerk, Gewerkschaft „Mirke"** . . . . . „ 2

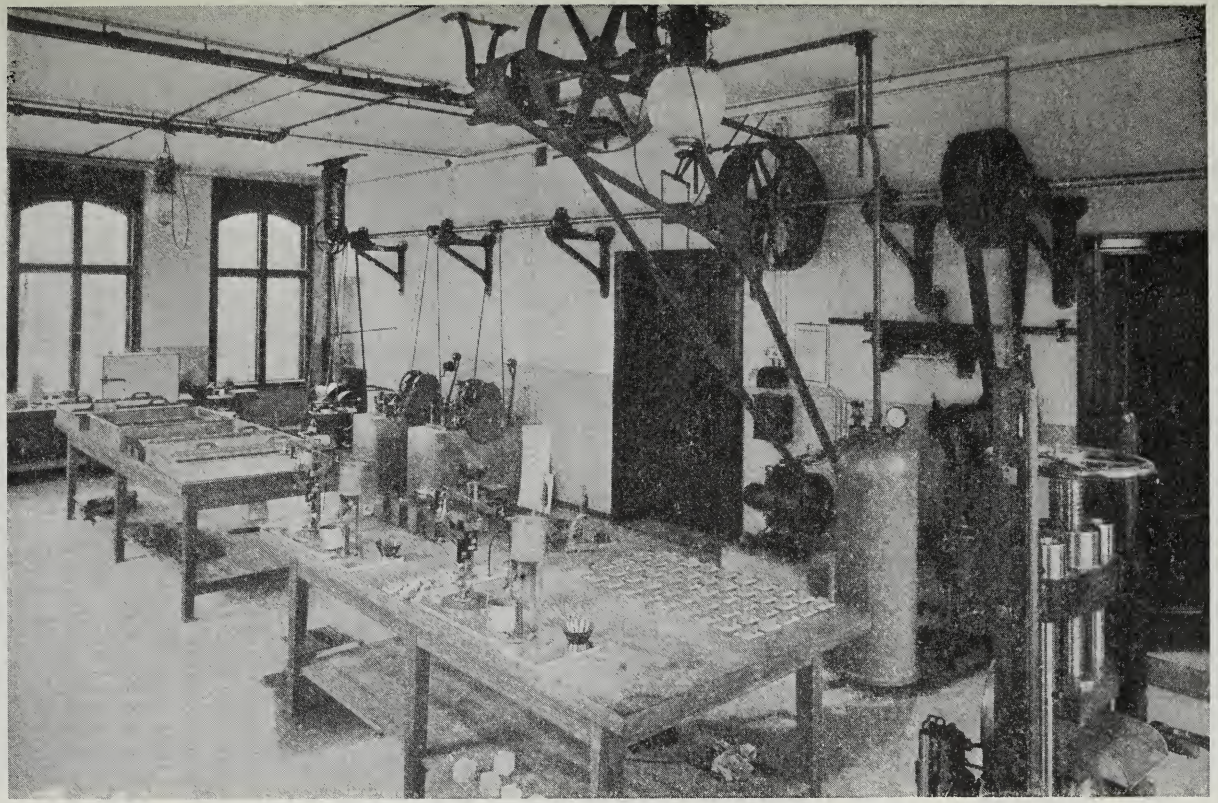
Die durch den Druck hervorgehobenen Firmen haben an dem Zustandekommen der Ausstellung durch Zahlung zum Teil sehr namhafter Beiträge mitgewirkt.

Von den dem Verein nicht angehörenden Fabriken beteiligten sich mit Beiträgen die folgenden:

1. Portland-Cement-Werk, Gewerkschaft „Elsa", Neubeckum.
2. Gewerkschaft Carl-Otto, Adelenhütte, Porz a/Rh.
3. Cementwerk Ruhrort.
4. do. Wetzlar (vorm. Stein).

Der Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten konnte zur gleichmässigen wissenschaftlichen Förderung der Industrie bei Beginn des neuen Jahrhunderts in Karlshorst bei Berlin ein eigenes Vereinslaboratorium mit einem Kostenaufwande von über 120 000 Mark eröffnen. Es soll in erster Linie der Kontrole der deutschen Portland-Cemente, daneben aber der Bearbeitung wissenschaftlicher Fragen im Interesse der gesamten Portland-Cement-Industrie und ihrer Nebenzweige dienen.

Nach dem aufgestellten Plane sollte das Vereins-Laboratorium in eine mechanische Abteilung und eine chemisch-physikalische Abteilung zerfallen. Als Bauplatz wurde ein nahe dem Bahnhofe Karlshorst gelegenes Grundstück erworben. Zur Bebauung wurde fast ausschliesslich Portland-Cement und Eisen verwendet.



Vereinslaboratorium zu Karlshorst. Mechanisches Laboratorium.

Das Hauptgebäude wurde aus Kunstsandstein der Cementwarenfabrik Schobinger & Rehfuss in Ulm a. D. aufgeführt. Es weist einfache aber doch harmonische Linien auf und fällt angenehm ins Auge. Neben dem Hauptgebäude steht ein massiver Schuppen zur Aufbewahrung von Cement und Normalsand.

Das Erdgeschoss enthält den Niederdruck-Dampfkessel für die Zentral-Heizung, von Rud. Otto Meyer, Berlin geliefert. Darüber befindet sich der Raum, in welchem die Schaltbretter zur Verteilung des vom Elektrizitätswerk Oberspree kommenden elektrischen Stromes untergebracht sind. Dieser Raum dient zugleich zur Aufbewahrung der verschiedensten Gerätschaften und des Prüfungsmaterials.

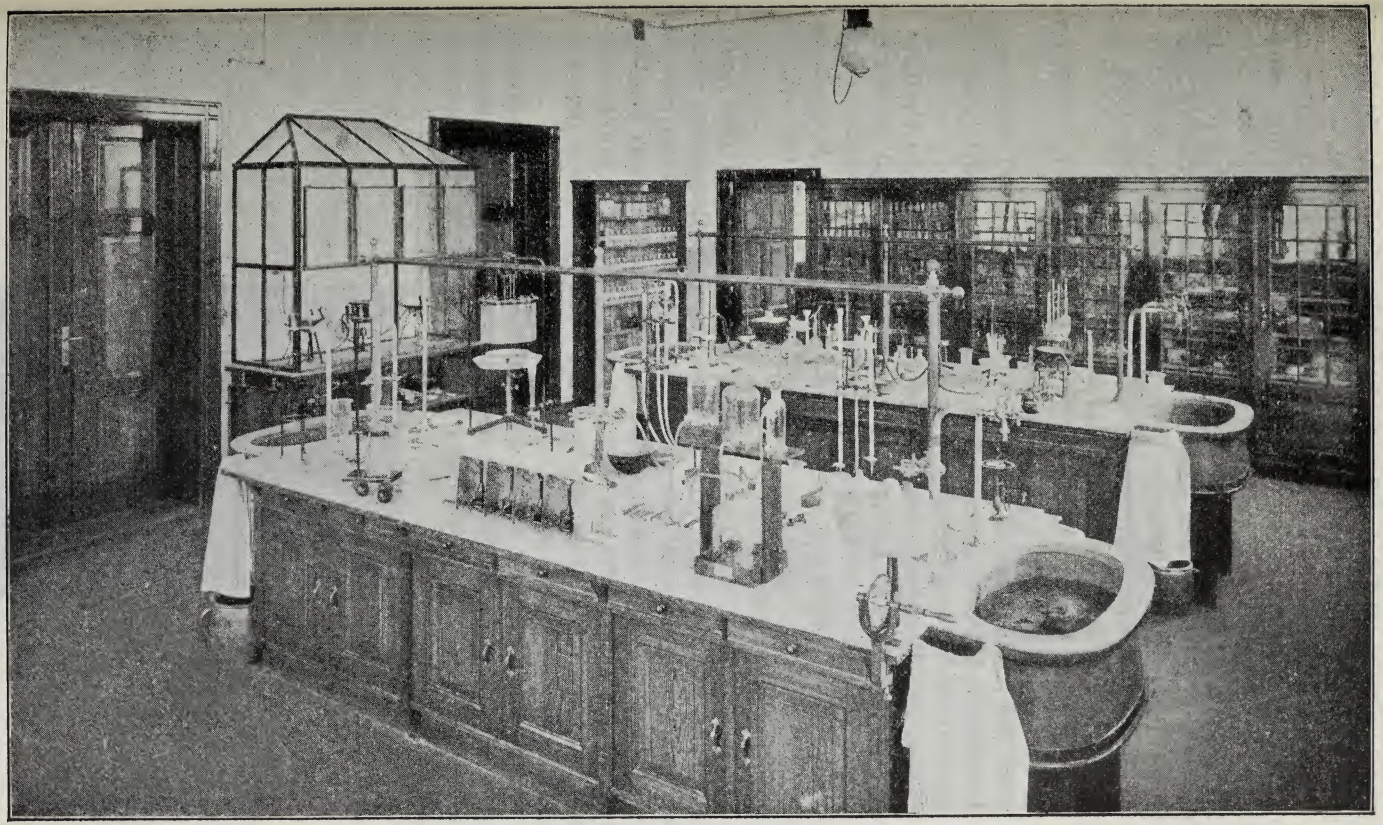
Daneben liegt der Raum zur Aufbewahrung von Luftproben, der Schmelzofenraum mit Trockenschrank, Versuchsöfen nach Seger-Heinicke und grossem Hempelschen Abdampfapparat.

Diesen Räumen gegenüber, getrennt durch den Korridor befindet sich das Zimmer zur Aufbewahrung der Probekörper in Wasser. Regale tragen die nötigen Wasserbehälter, sowie die Apparate für Dampf-, Glüh- und Kochproben. Eine Wendeltreppe führt in ein Zimmer des Obergeschosses.

Vom Korridor gelangt man in das mechanische Laboratorium. Hier stehen drei grosse, festgebaute Arbeitstische. Eine kleine Kugelmühle, ein Mörtelmischer Bauart Steinbrück und zwei Doppelhammerapparate nach Böhme mit Festhaltung Martens bilden den einen Maschinenblock, ein 10 HP Elektromotor von Siemens & Halske, ein Luftkompressor mit Windkessel und automatischer Ein- und Ausrückung von Koch, Bantelmann & Paasch, Magdeburg-Buckau und eine 60000 kg Presse von J. Amsler-Laffon & Sohn, Schaffhausen den anderen. Sämtliche Maschinen, ausgenommen die Presse werden durch den Elektromotor (1400 U. 29,4 Amp., 210 Volt, 3-phas) mittelst Transmission und Vorgelege angetrieben. Ausser den Maschinen sind vorhanden fast sämtliche zur Cementprüfung notwendigen Apparate wie zwei Zerreissapparate, Vicatnadeln u. s. w. Die Beleuchtung dieses Raumes, ebenso wie des chemischen und physikalischen Laboratoriums, ausgeführt von Siemens & Halske, geschieht durch Bogenlampen. Unter der Treppe zum ersten Stock ist eine photographische Dunkelkammer untergebracht.

Im ersten Stockwerk liegt das Zimmer des Vorstandes, welches zugleich als Registratur dient. Ein Konferenztisch, Schreibtisch, zwei Repositorien, Tische und Stühle aus hellem Eichenholz machen das grün tapezierte Zimmer wohnlich. Als Wandschmuck dient das von Direktor F. Schott dem Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten gestiftete Portrait des verstorbenen Vereinspräsidenten Geheimrates Dr. Delbrück.

An das Vorstandszimmer schliesst sich das physikalische Laboratorium mit einer schönen in die Wand eingelassenen Terazzoplatte der



Vereinslaboratorium zu Karlshorst. Chemisches Laboratorium.

Züllchower Portland-Cement-Fabrik zur Aufstellung empfindlicher physikalischer Apparate, daran das chemische Laboratorium.

Zwei grosse mit Xylolith belegten Arbeitstische stehen mitten im Raum, an den Fenstern entlang ziehen sich schmale Tische hin, an den Wänden stehen grosse Schränke und Regale zur Aufnahme von Glasgeräten, Chemikalien, Reagentien. Eine Kapelle enthält Apparate zum Abdampfen von Säuren und übel riechenden Stoffen. Gas, Wasser, Pressluft, Elektrizität stehen zur Verfügung. Neben dem Raum für chemische Arbeiten befindet sich das Wägezimmer mit Bibliothek, das zugleich Aufenthaltsort des Assistenten ist.

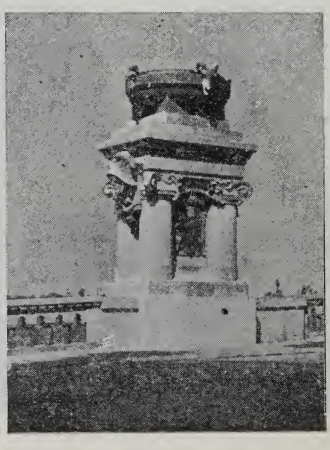
Im zweiten Stock liegt die Wohnung des Laboranten, bestehend aus Küche und 3 Stuben nebst Bodenräumen.

Mit der Erdausschachtung wurde im Frühjahr 1900 begonnen, am 1. Oktober 1901 konnte das Gebäude bezogen werden und am 1. Januar 1902 der Betrieb aufgenommen. —

Die guten Betriebsergebnisse einer grossen Zahl von Portland-Cement-Fabriken in den letzten Jahren hatten leider überall die rasche, ja überstürzte Anlage sehr grosser Kapitalien in dieser Industrie zur Folge. Ohne Ueberlegung, ohne Berücksichtigung der Möglichkeit des Absatzes wurden zahlreiche neue Fabriken gegründet und vielfach die bestehenden vergrössert.

Ein Versuch, der besonders in Nordwestdeutschland über jedes Mass hinausgewachsenen Ueberproduktion durch Bildung eines Syndikates und gemeinsame Betriebseinschränkung zu begegnen, die in der Tabelle S. 15 zum Ausdruck kommt, ist gescheitert. Das Syndikat hat sich nach kurzem Bestehen aufgelöst und der wildeste Konkurrenzkampf ist eingetreten. Nur eine weitere starke Zunahme des Verbrauches kann Besserung schaffen.

Möge die Ausstellung, welche zum ersten Male im Zusammenhange zeigt, was die deutsche Portland-Cement-Industrie zu leisten vermag, und zu welch mannigfacher Anwendung das Produkt sich eignet, hierzu beitragen!



II. Herstellung, Unterscheidung und Prüfung von Portland-Cement.

a. Was ist Portland-Cement?

Portland-Cement ist der vornehmste, weil am schnellsten zur höchsten Festigkeit gelangende hydraulische Mörtelbildner.

Portland-Cement wird dadurch erzeugt, dass man eine innige Mischung von Kalk und Thon als wesentliche Bestandteile in einem bestimmten Verhältnis zu einander bis zur Sinterung brennt und die Masse (Klinker) mehlfein zerkleinert. Diese innige Mischung ist an einzelnen Stellen der Erdkruste schon von Natur nahezu vollkommen vorhanden, in den meisten Fällen wird sie aber künstlich erzeugt. Die deutschen Portland-Cemente, die zu den besten der Erde gehören, sind aus künstlichen Mischungen erbrannt.

Die Rohmaterialien, Kalk und Thon, werden je nach Beschaffenheit auf nassem (Schlämmerei) oder trockenem Wege (Mahlapparate) zerteilt und gemischt. Das in letzterem Falle erhaltene Mehl wird mit Wasser angefeuchtet und zu Steinen geformt. Bei dem Nass-Verfahren werden die Steine aus der eingedickten Schlämmmasse hergestellt. Nach dem Trocknen brennt man die Steine in geeigneten Oefen (Ringöfen, Dietzsche Schachtöfen, Drehrohröfen) bis zur Sinterung und erhält so die Cementklinker, welche, vermahlen, den fertigen Cement liefern.

Gemische aus thon- und kalkhaltigen Stoffen, die nicht in ihrer ganzen Masse bis zum Sintern gebrannt wurden, sind kein Portland-Cement.

Chemische Zusammensetzung.

Hauptbestandteile des Portland-Cementes sind Kieselsäure, Thonerde, Eisenoxyd, Kalk und in geringen Mengen Magnesia. In kleinen Mengen sind Beimengungen von Alkalien und Schwefelsäure vorhanden, herrührend aus den Rohmaterialien, welche in der Natur nie in chemisch-reinem Zustande vorkommen, oder aus dem Brennmaterial und dem Gips, der zur Regelung des Erhärtungsvorganges (siehe unten) dem Cement in kleinen Mengen zugesetzt wird. Gute Portland-Cemente haben etwa folgende Zusammensetzung:

Kalk	59 – 65 %
Kieselsäure	20 – 26 %
Thonerde und Eisenoxyd .	7 – 14 %
Magnesia	1 – 3 %
Alkalien	Spuren – 3 %
Schwefelsäure . . .	„ – 2 %

Je nach Beschaffenheit ihres besonderen Rohmaterials bestimmt jede Fabrik die für sie richtige Zusammensetzung möglichst innerhalb dieser Grenzen und muss sie durch beständige analytische Controle gleichbleibend erhalten.

Wesentliche Unterscheidungsmerkmale der Portland-Cemente verschiedenen Ursprungs geben die folgenden, technisch wichtigsten Eigenschaften:

1. Feinheit des Korns,
2. spezifisches Gewicht,
3. Bindezeit,
4. Zugfestigkeit,
5. Druckfestigkeit,
6. Raumbeständigkeit,
7. Reinheit.

1. Feinheit des Korns.

Je feiner der Cement gemahlen ist, um so grösser ist seine chemische Wirksamkeit. Die groben Teile wirken nicht viel anders als Sand. Eine Mehlfeinheit von etwa 5 pCt. Rückstand auf einem Siebe von 900 Maschen auf 1 qcm und etwa 30 pCt. auf einem solchen von 5000 Maschen auf 1 qcm ist leicht zu erlangen.

Viele gute Portland-Cemente sind noch feiner gemahlen.

Je feiner die Mahlung des Cements, um so höher ist auch — aber nur bis zu einem gewissen Masse — seine Festigkeit, und um so mehr Sand kann man dem Cement zusetzen.

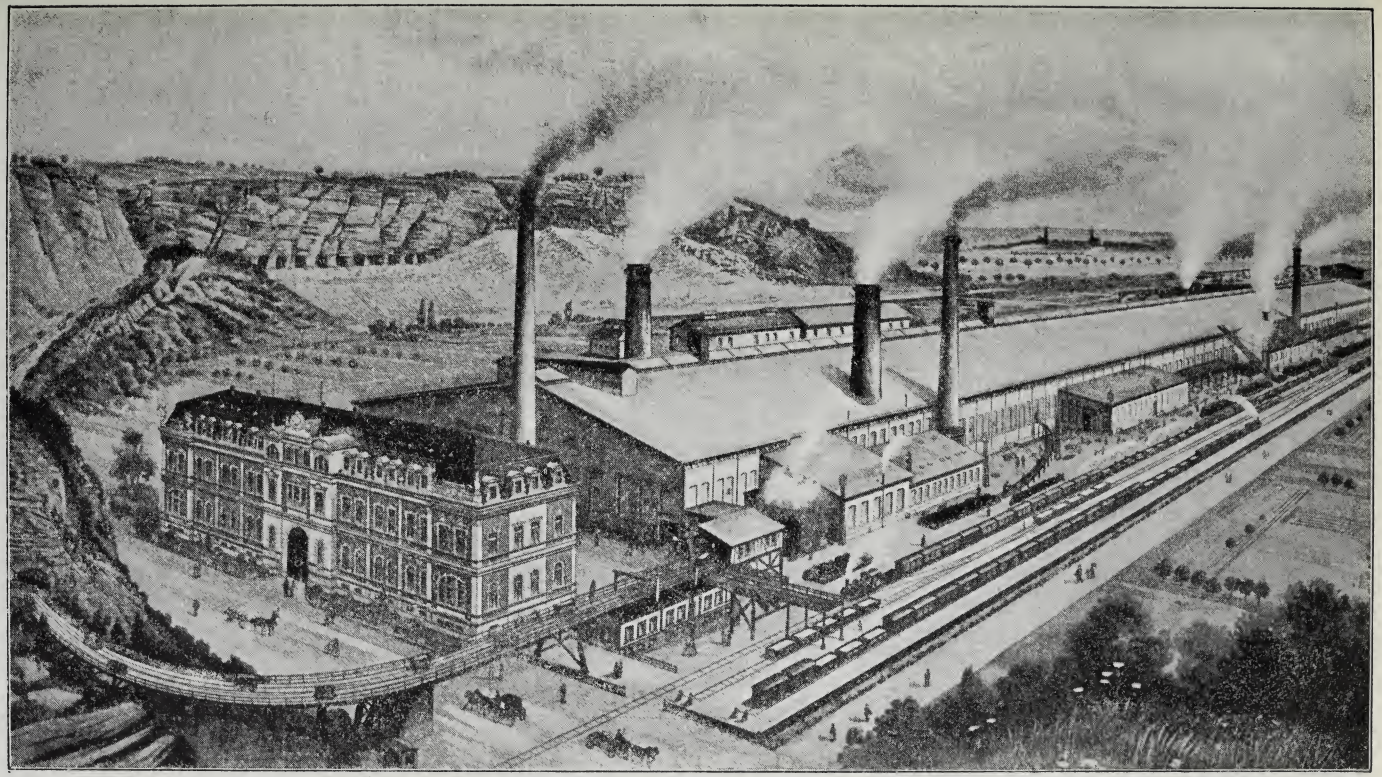
Indessen sind häufig Cemente, besonders aus thonreichen Mischungen, oder unsachgemäss erbrannte Ware besonders fein; daher ist die feine Mahlung allein kein sicheres Kennzeichen für die Güte des Portland-Cementes.

2. Spezifisches Gewicht.

Portland-Cement besitzt ein höheres spezifisches Gewicht als alle anderen Bindemittel. Es schwankt bei ausgeglühtem Cement zwischen 3,12 bis 3,25.

3. Abbindezeit.

Portland-Cement, mit einer gewissen Menge Wasser angerührt, bildet einen knetbaren Brei, welcher nach einiger Zeit erstarrt. Den



Ansicht eines grossen Portland-Cement-Werkes mit Kalksteinbruch.
Fabrikhalle 485 m lang, 60 m breit, 13 m hoch, ausgeführt in Betoneisenbau. Seitenwände 10 cm dick, Dach 2,5 cm dick.

Uebergang in die Erstarrung nennt man Abbinden, und die Zeit, welche bis zur Erstarrung verfliesst, die Bindezeit.

Bereits abgebundener, mit Wasser wieder angerührter Portland-Cementmörtel hat keine oder nur noch geringe Erhärtungsenergie. Deshalb müssen abgebundene Mörtelüberreste beseitigt und dürfen keinesfalls wieder verarbeitet werden.

Die Art und Weise, in der man die Bindezeit bestimmt, und die dazu benutzten Apparate sind weiter unten geschildert.

Der Fabrikant hat es in der Hand, rasch oder langsam bindenden Cement herzustellen. Der langsam bindende Cement ist seiner höheren End-Festigkeit wegen dem schnell bindenden vorzuziehen; nur für besondere Zwecke (zum Vergiessen) kann rasch bindender Portland-Cement besser geeignet sein; man sollte seine Benutzung auf diese Fälle beschränken. Langsam bindenden Cement kann man durch Anmachen mit warmem Wasser und Beschränkung des Wasserzusatzes wesentlich rascher bindend machen.

Auch Kali, Natron, kohlensaures Natron kürzen die Bindezeit, während sie durch schwefelsaure Salze und Chlorcalcium verlängert wird.

Der abgebundene Portland-Cement erhärtet sowohl im Wasser als an der Luft beträchtlich weiter und erreicht in kurzer Zeit bedeutende Festigkeit; die höchste Festigkeit erst nach Verlauf von mehreren Jahren.

Zu den physikalischen Bedingungen gleichmässiger Nachhärtung gehört Ruhe während des Abbindens und Schutz vor raschem Austrocknen. Wird dem Cement schon von Anfang an das zur Erhärtung nötige Wasser, das chemisch gebunden werden muss, entzogen, so kann er nie seine volle Härte erreichen.

4. Festigkeit.

Obgleich im Bauwesen der Cement meist auf Druck beansprucht wird, so hat man sich doch daran gewöhnt, die Zugfestigkeit als Unterscheidungsmerkmal in den Vordergrund zu stellen, da die Zugprobe zur Controle mit weniger Masse rascher, einfacher und billiger auszuführen ist. Die entscheidende Probe kann aber nur die Druckprobe sein. Die Druckfestigkeit beträgt im allgemeinen das 8- bis 12-fache der Zugfestigkeit, indessen verhalten sich verschiedene Cemente hierin ungleich.

Die Prüfungen auf Festigkeit sind, wenn ein sicheres Resultat erreicht werden soll, keineswegs so leicht auszuführen, wie vielfach angenommen wird. Viele ungerechtfertigte Klagen über angeblich schlechten Cement sind auf die fehlerhafte Herstellung der Probekörper zurückzuführen und zahlreiche Momente sind von Einfluss auf die Festigkeit, hauptsächlich Temperatur, Menge und Beschaffenheit des

Kalksteinbruch im Abbau für die Portland-Cement-Fabrikation.

Mörtelwassers, Energie der Bearbeitung des Mörtels und Beschaffenheit des Sandes.*)

Im allgemeinen wird der Cement fester, mit je weniger Wasser er angemacht wird, jedoch muss immer so viel Wasser vorhanden sein, dass beim Durcharbeiten und Stampfen des Mörtels sich Wasser abscheidet.

Kräftiges und längeres Durcharbeiten des Mörtels ist günstig für die Festigkeit, weshalb bei umfangreichen Bauten die Anwendung von Mörtelmischmaschinen, am besten Kollergängen, zu empfehlen ist.

5. Raumbeständigkeit.

Völlig raumbeständig ist weder Mörtel noch Stein, da Hitze und Kälte, Nässe und Trockenheit den Rauminhalt der Körper beeinflussen. Diese natürlichen Raumveränderungen sind aber bei guten Portland-Cementen noch geringer als die Ausdehnungen, welche Steine bei gleicher Behandlung erfahren.

Bei fehlerhaften Cementen beobachtet man aber das sogenannte „Treiben“ oder „Quellen“, eine sehr starke Ausdehnung, welche ein Zerklüften des bereits hart gewordenen Mörtels bewirkt und nicht selten das gänzliche Zerfallen herbeiführt.

Diese Eigenschaft darf ein guter Cement nicht haben, er muss „raumbeständig“ sein.

Das Treiben ist bei Cementkuchen im Wasser schon nach wenigen Tagen deutlich an netzartigen, feinen Rissen erkennbar oder bei starktreibendem Cement an Verkrümmung des Kuchens und Kantenrissen. Die Kantenrisse verlaufen in der Richtung nach dem Mittelpunkt des Kuchens hin, klaffen am Rande des Kuchens am weitesten und verengen sich nach der Mitte zu. Diese Treibrisse sind nicht zu verwechseln mit „Schwindrissen“.

Wird ein Werkstück aus reinem Portland-Cement (ohne Sandzusatz) der Luft ausgesetzt, so nimmt sein Rauminhalt ab. Durch zu rasches Austrocknen in Zugluft oder Sonnenhitze ohne genügendes Feuchthalten entstehen die „Schwindrisse“. Sie unterscheiden sich von den „Treibrissen“ dadurch, dass sie schon während des Abbindens sich bilden und unregelmässige, in sich selbst zurücklaufende, sich über die Mitte des Kuchens hin erstreckende, krumme Linien darstellen. Die Erscheinung ist eine Folge unrichtiger Behandlung des Cements beim Verarbeiten, wogegen „Treibrisse“ auf fehlerhafte Fabrikation zurückzuführen sind.

„Haarrisse“ zeigen sich stets erst bei älteren Cementarbeiten. Sie sind besonders an alten Cementstücken mit fetter Oberschicht

*) Vgl. Gary: Ueber die Ursachen der Abweichungen bei der Prüfung des Cements an verschiedenen Orten. Mitteilungen aus den königl. techn. Versuchsanstalten. Jul. Springer, 1898.

Trockentrommeln für Kalkstein in einem grossen Portland-Cement-Werk.

zu beobachten, die im Freien liegen und auf den oftmaligen Wechsel zwischen nassem und trockenem Zustand zurückzuführen.

Haar- und Schwindrisse lassen sich durch Zusatz von Sand und sachgemässe Behandlung der Cementstücke vermeiden.

6. Reinheit.

Zusätze, welche dem Portland-Cement nur vereinzelt beigegeben werden, unterscheiden sich in solche, die dem Cement gewisse Eigenschaften erteilen sollen, und solche, die in betrügerischer oder gewinnsüchtiger Absicht beigemischt werden. Zu den ersteren gehören Gips und Farbstoffe. Durch Gipszusatz bis zu 2 pCt. wird die Abbindezeit des Cementes geregelt und die Festigkeit erhöht. Ein höherer Gipszusatz in gewinnsüchtiger Absicht verbietet sich von selbst, da er „Treiben" veranlassen würde.

Bisweilen setzt man dem Portland-Cement mineralische Farbstoffe zu, um seine natürliche graugrüne Farbe zu verdecken. Die meisten dieser Farbstoffe wirken herabmindernd auf die Festigkeit des Cements, nur Ultramarin erhöht die Festigkeit.

Aus anderen Gründen werden zuweilen dem Portland-Cement Hochofenschlacke, Kalkstein, Thonschiefer, Basalt, Asche, Sand usw. in fein gemahlenem Zustande beigesetzt; diese Zusätze, welche meist nachteilig auf die Beschaffenheit des Portland-Cements wirken, sind leicht nachzuweisen.

In einem Erlass des Kgl. preuss. Ministeriums der öffentlichen Arbeiten vom 31. Dezember 1901 ist bezüglich des Verkaufes von Cement, dem Hochofenschlacke in beträchtlichen Mengen beigemischt ist, unter dem Namen „Portland-Cement", folgendes zum Ausdruck gekommen:

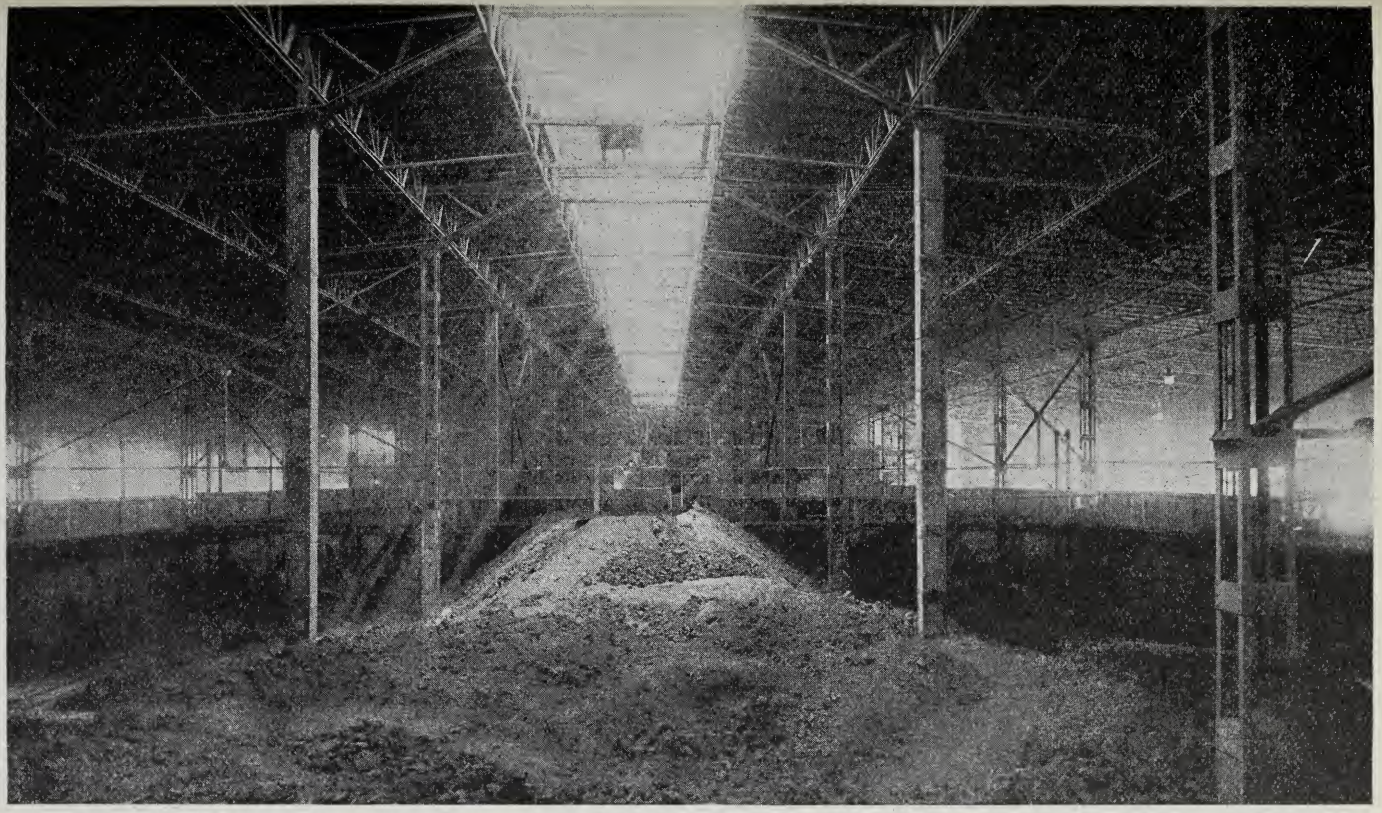
„Nach dem Erlass vom 28. Juli 1887 sind die preussischen Baubeamten verpflichtet, den Bedarf an Portland-Cement für die Staatsbauten auf Grund der festgesetzten „Normen" auszuschreiben und abzunehmen. Dabei ist selbstverständlich die Zumischung von fremden Stoffen, zu denen auch Hochofenschlacke gehört, nicht zu dulden und in zweifelhaften Fällen eine Prüfung der Cemente auf solche Zusätze vorzunehmen oder zu veranlassen."

---

b. Wie wird Portland-Cement verschickt, gelagert und verarbeitet?

Portland-Cement kommt in Fässern und in Säcken verpackt in den Handel.

1 Normalfass Portland-Cement von 170 kg netto enthält etwa 122 l, 1 Sack Portland-Cement von 70 kg netto etwa 50 l und 1 Sack von 50 kg netto etwa 36 l.



Klinkerschuppen eines grossen Portland-Cement-Werkes.

Die Fässer und Säcke tragen ausser der Gewichtsangabe auch die Firma oder Fabrikmarke der betreffenden Fabrik. Streuverlust sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht bis zu 2 pCt. können nicht beanstandet werden.

Fässer und Säcke müssen trocken gelagert werden, dann erhöht die Lagerung des Cementes dessen Güte. Dieses „Ablagern" vollzieht sich durch die Einwirkung der Feuchtigkeit und der Kohlensäure der Luft; gleichzeitig findet durch Zerfallen grober Körnchen eine Verfeinerung des Cementes statt. In feuchter Luft wird der Cement klumpig und zuletzt unbrauchbar.

1. Auswahl des Cementes und der Zusatzmaterialien.

Bei Arbeiten unter Wasserandrang bedient man sich vorteilhaft rasch bindender Cemente; auch bei Verputzarbeiten, zum Ziehen von Gesimsen usw. sowie bei kalter Witterung wendet man Cement an, der nicht zu langsam abbindet; in allen übrigen Fällen benutzt man langsam bindenden Cement.

Reiner Portland-Cement eignet sich zu Mörtel nur in solchen Fällen, in denen die Arbeit dauernd unter Wasser bezw. in feuchtem Erdreich oder in geschlossenen Räumen bleibt. Sonst muss Portland-Cement stets mit mehr oder weniger Sand verarbeitet werden, um Schwindrisse zu vermeiden. Die Beschaffenheit von Sand, Kies und Steinen ist von grösstem Einfluss auf die Festigkeit einer Cementarbeit. Sehr feiner Sand ist in der Regel unvorteilhaft, am besten ist gemischtkörniger. Kies und Steine für Beton müssen hart und rein sein oder gewaschen werden.

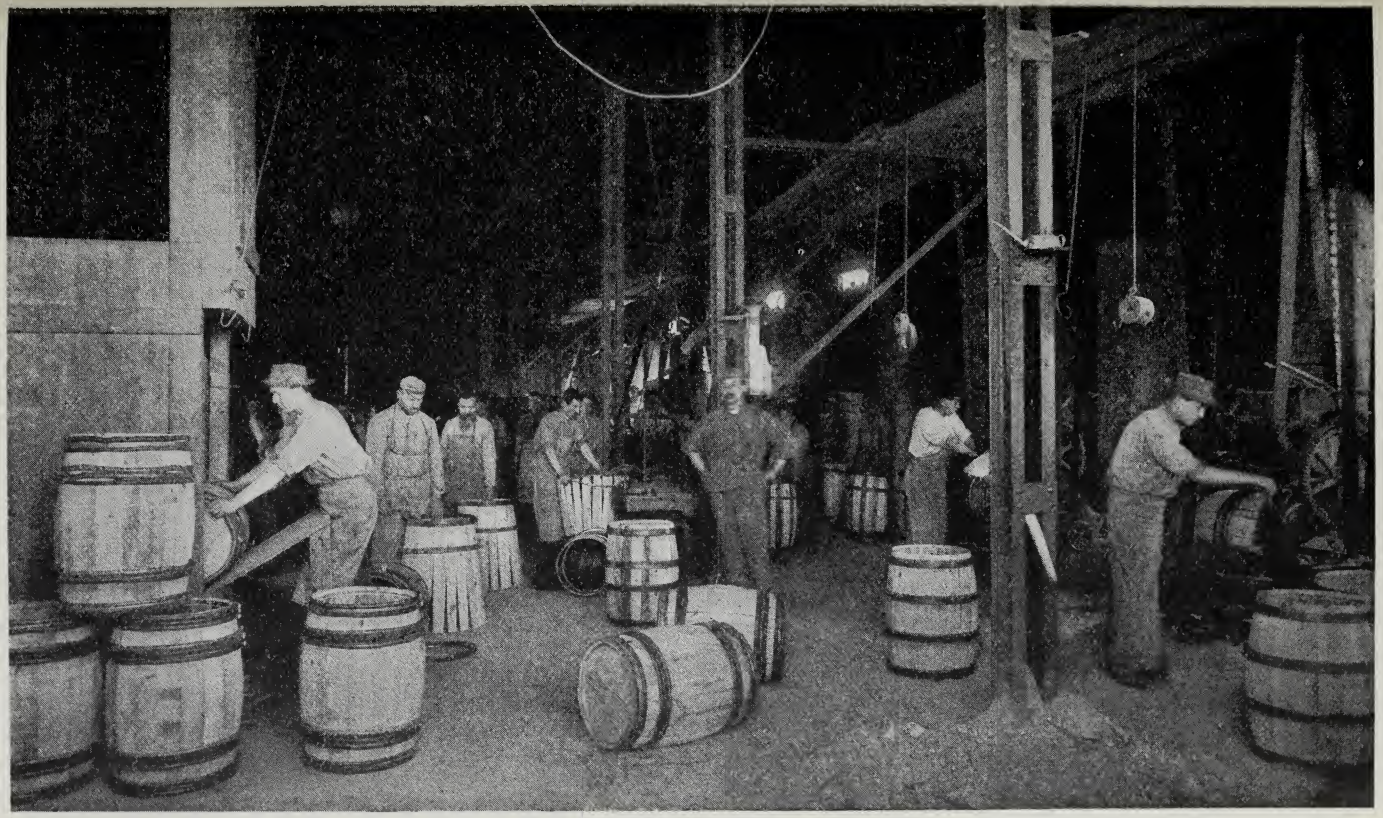
2. Mörtelbereitung und Verarbeitung.

Da Cement und Sand auf der Baustelle nach Raumteilen gemischt werden, empfiehlt es sich, die Messgefässe den Packungen entsprechend zu verwenden. Mischungen nach ungefährer Schätzung sollten nie vorgenommen werden.

Die Höhe des Sandzusatzes richtet sich nach dem Zweck der Cementarbeit. 3 bis 4 Raumteile Sand auf 1 Raumteil Cement bilden die übliche Mischung für gewöhnliche, wetterbeständige Verputzarbeiten, Mauerwerk, Fundierung, Kunststeine usw.

Der Cement ist mit möglichst wenig Wasser anzumachen und der Mörtel kräftig durchzuarbeiten, um ihn geschmeidig zu machen. Die Zubereitung des Cementmörtels geschieht, indem man den abgemessenen Sand etwas ausbreitet, die erforderliche Menge Cement darüber schüttet und das Ganze so lange, bis eine gleichmässige Masse entsteht, durcheinandermischt; erst hierauf wird unter kräftigem, fortwährendem Durcharbeiten das nötige Wasser zugesetzt.

Bereits erstarrter Cementmörtel darf, wie bereits erwähnt, niemals mit Wasser von neuem angerührt werden; deshalb ist immer nur so-



Fassfabrikation in einem grossen Portland-Cement-Werk.

viel Mörtel auf einmal anzumachen, wie vor Beginn des Abbindens desselben verarbeitet werden kann. Bei Betonarbeiten ist Kies- bezw. Steinzuschlag, bevor sie dem Mörtel zugesetzt werden, stark zu nässen.

Wenn zwar eine rasche Erhärtung des Mörtels erwünscht, gleichwohl aber keine hohe Festigkeit erforderlich ist, giebt ein Zusatz von Fettkalk oder gut gelöschtem, hydraulischen Kalk ein vorzügliches Mittel ab, um magere Cementmörtel geschmeidig zu machen. Der Zusatz von Kalk gestattet, guten Portland-Cement voll auszunutzen und ihn hinsichtlich des Preises mit anderen Bindemitteln in Wettbewerb treten zu lassen. Vorzüge des Cement-Kalkmörtels sind bei grosser Billigkeit im Vergleich zu anderen hydraulischen Bindemitteln: Fähigkeit der raschen Erhärtung, starke hydraulische Eigenschaften, hohe Festigkeit insbesondere an der Luft und grosse Wetterbeständigkeit.

Man bereitet den Cement-Kalkmörtel, indem man die nötige Menge Cement und Sand im gewünschten Verhältnis trocken mischt, aus dem zuzusetzenden Kalkteig und der erforderlichen Wassermenge Kalkmilch herstellt und in diese die Mischung von Cement und Sand unter kräftigem Durcharbeiten einschüttet.

Portland-Cement eignet sich gleich vorzüglich als Luft- und als Wassermörtel. Hauptbedingung ist nur die sachgemässe, richtige Verarbeitung und Zubereitung je nach der Verwendungsweise.

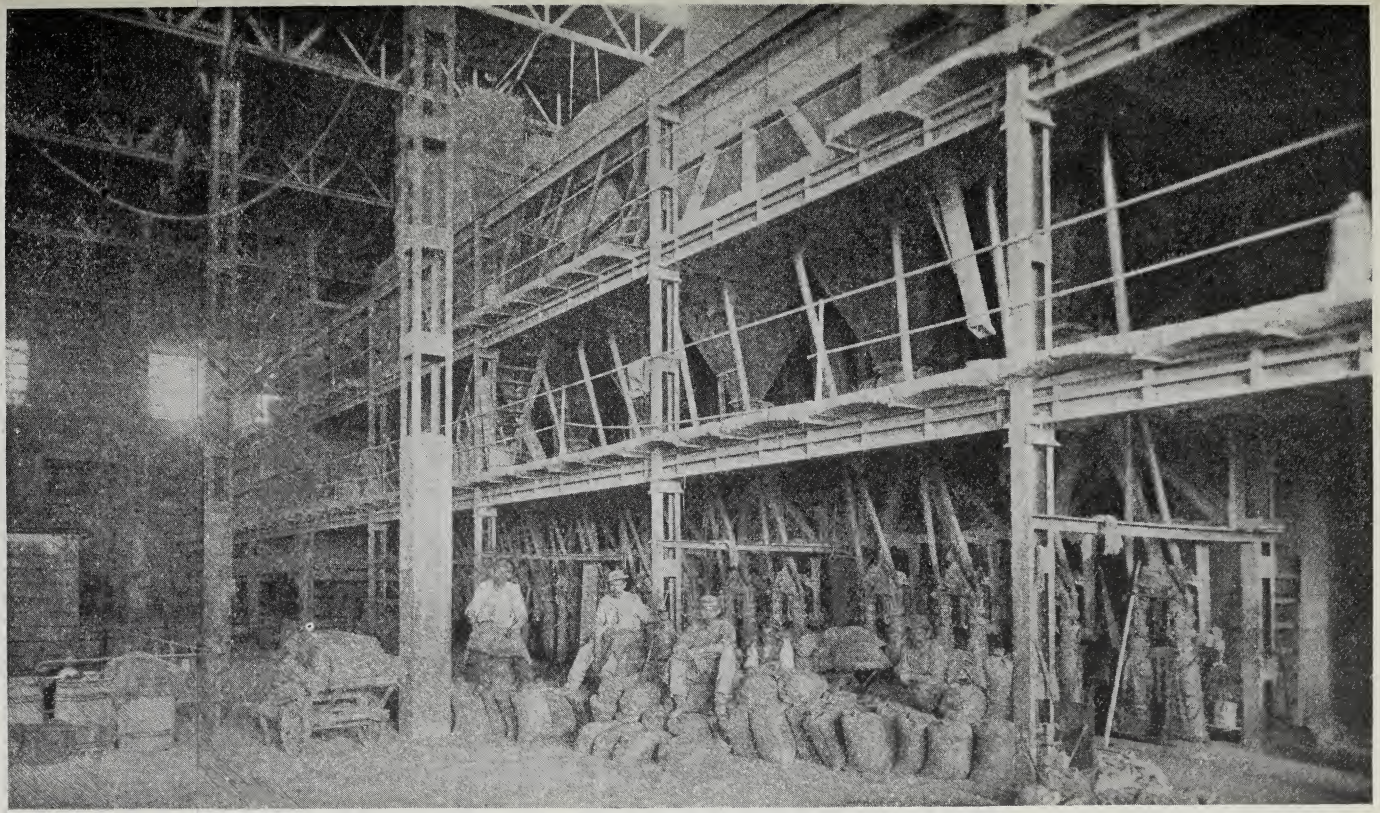
Die Wasserdichtigkeit ist um so grösser, je fetter die Mischung ist und je länger der Mörtel erhärtet, da das Gefüge des Cementmörtels durch den Erhärtungsvorgang immer dichter wird und die Poren sich mehr und mehr schliessen.

Sollen Mauerflächen mit Portland-Cement verputzt werden, so muss die Oberfläche der Steine vorher von Staub, Schmutz, Kalkmörtel usw. sorgfältig gereinigt, abgewaschen und dann wiederholt genetzt werden. Die Oberfläche von Wandputz, welcher der Witterung ausgesetzt ist, soll nicht mit zu fettem Mörtel hergestellt werden, um Schwindrisse zu vermeiden. Je mehr Sand (unbeschadet der geforderten Festigkeit) genommen werden kann, desto haltbarer wird der Verputz gegenüber den Witterungseinflüssen.

Die Verputzarbeiten sind feucht zu halten und in der ersten Zeit vor Zugluft sowie vor Sonnenstrahlen zu schützen. Sie werden am besten im Frühjahr vorgenommen. Braunkohlenteilchen im Sande sind schädlich.

Cementarbeiten, welche aus irgend welchen Gründen mit Oelfarbenanstrich versehen werden sollen, müssen zuvor vollständig erhärtet und trocken sein. Um die Oelfarbe auf dem Cement haftbar zu machen, kann man sich verschiedener Methoden bedienen:

a) Man überstreicht die Flächen zweimal mit stark verdünnter Schwefelsäure (1 Teil käufliche konzentrierte Schwefelsäure auf 100 Teile Wasser), spült mit reinem Wasser nach, trocknet und bringt den Oelanstrich auf.



Packerei eines grossen Portland-Cement-Werkes.

b) Man wäscht die Flächen wiederholt mit Wasser ab und tränkt sie nach 8 Tagen zweimal mit Leinölfettsäure. Dann erst wird die Oelfarbe aufgetragen.

c) Man streicht Wasserglas des Handels mit der drei- oder vierfachen Menge Wasser verdünnt, zweimal auf. Einige Zeit, bevor man den dritten Wasserglasanstrich giebt, wäscht man die Flächen mit Wasser ab. Nach dem Trocknen des letzten Anstrichs kann man die Oelfarbe auftragen.

3. Beton.

Unter Beton versteht man ein Gemenge von Cement mit Sand und Kies oder zerschlagenen Steinen, mit der entsprechenden Menge Wasser verarbeitet.

Das Steinmaterial zu Beton darf in seiner Festigkeit nicht hinter der des angewandten Cementmörtels zurückbleiben; deshalb sind zu bevorzugen: Granit, Kies, Basalt, harter Kalkstein; weiche Sandsteine und Ziegelsteinschotter, überhaupt poröse Steine, sind bei Beton, der später den Einflüssen des Frostes ausgesetzt ist, zu vermeiden. Die Grösse der Schotter- oder Kiesstücke soll nicht über etwa Hühnereigrösse hinausgehen. Das Mischungsverhältnis richtet sich nach der Verwendungsweise. Der Wasserzusatz für Stampfbeton muss so gewählt werden, dass die Betonmasse erst nach längerem kräftigen Einstampfen oder Schlagen plastisch wird und an der Oberfläche schwache Feuchtigkeit zeigt. Vor stärkerem Wasserzusatz ist zu warnen, wenn nicht der Beton etwa eingeschüttet oder -gerüttelt werden soll.

Zur Herstellung von dauerhaften Fussböden aus Beton im Freien ist eine isolierende und gleichzeitig die Feuchtigkeit ableitende Schicht aus grobem Kies oder Schlacken in der Stärke von mindestens 25 cm unterzubringen, die fest einzustampfen und zu ebnen ist. In bedeckten Räumen bei trocknem Untergrund genügt es, den Untergrund zu ebnen und festzustampfen. Der Fussboden wird in der Regel in zwei Schichten hergestellt; aus einer unteren, mageren Betonschicht von 6 – 10 cm und einer oberen, fetten Mörtelschicht von etwa 1,5 – 2 cm Dicke.

Der Ueberzug wird auf die Betonschicht aufgetragen, so lange sie noch nicht angebunden ist, und aus einer Mischung von 1 T. Portland-Cement und 1 T. Sand zubereitet. Vor dem Aufbringen des Ueberzugs ist der Beton zu reinigen und aufzurauhen. Der Ueberzugsmörtel wird fest eingeschlagen und scharf abgestrichen. Ehe der Mörtel abgebunden ist, wird er mittels Holzscheibe abgerieben und geglättet. Will man die Oberfläche nicht glatt haben, so wird die noch weiche Decke mit der Cementwalze geriffelt. Die fertige gut abgebundene Fläche wird mit einer etwa 10 cm dicken Sandschicht bedeckt, die man möglichst mehrere Wochen lang unter beständigem Nasshalten darauf belässt. Hierdurch wird das Auftreten von Haarrissen vermieden.

Bei grösseren Flächen werden Risse vermieden, wenn man den Beton durch Fugen in kleinere Felder teilt, welche einzeln für sich dem Ausdehnen und Zusammenziehen der Masse nachgeben können. Die Felder nehme man höchstens einige Quadratmeter gross und trenne sie durch Dachpappstreifen.

Trennfugen sind auch an Mauern und Randsteinen anzubringen. Die hervorragendsten Anwendungsgebiete*) des Portland-Cements im Hochbau sind die Treppen- und Deckenkonstruktionen. Feuersicherheit, Sicherheit vor Hausschwamm, Raschheit der Bauweise und infolgedessen Billigkeit sind die durchschlagendsten Gründe hierfür.

---

c. Wie unterscheidet man die Portland-Cemente?

Um den Käufern von Portland-Cement ein Mittel an die Hand zu geben, die Güte der ihnen angebotenen Ware zu prüfen, um die guten von den minderwertigen zu unterscheiden, haben die königlich preussischen Ministerien für Handel und Gewerbe und für öffentliche Arbeiten gemeinsam mit dem Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement vereinbart, die sich inzwischen auch in ausserpreussischen Bundesstaaten Geltung verschafft haben. Diese Normen bilden im wesentlichen noch heute die Grundlage des Prüfungswesens für Portland-Cement im deutschen Reiche. Sie lauten:

Normen

für

einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement

aufgestellt von dem

Königlich Preuss. Ministerium für Handel, Gewerbe und öffentliche Arbeiten

mittels Zirkularerlass vom 28. Juli 1887.

Begriffserklärung von Portland-Cement.

Portland-Cement ist ein Produkt, entstanden durch Brennen einer innigen Mischung von kalk- und thonhaltigen Materialien als wesentlichsten Bestandteilen bis zur Sinterung und darauf folgender Zerkleinerung bis zur Mahlfeinheit.

I. Verpackung und Gewicht.

In der Regel soll Portland-Cement in Normalfässern von 180 kg brutto und ca. 170 kg netto und in halben Normalfässern

---

*) Näheres über Beton und seine Anwendung siehe „Der Portland-Cement und seine Anwendungen im Bauwesen". Berlin 1892. Verlag der Deutschen Bauzeitung, und B. Liebold: „Der Cement in seiner Verwendung im Hochbau". Halle a. S. 1875. Knapps Verlags-Buchhandlung.

von 90 kg brutto und ca. 83 kg netto verpackt werden. Das Brutto-Gewicht soll auf den Fässern verzeichnet sein.

Wird der Cement in Fässern von anderem Gewicht oder in Säcken verlangt, so muss das Brutto-Gewicht auf diesen Verpackungen ebenfalls durch deutliche Aufschrift kenntlich gemacht werden.

Streuverlust, sowie etwaige Schwankungen im Einzelgewicht können bis zu 2 pCt. nicht beanstandet werden.

Die Fässer und Säcke sollen ausser der Gewichtsangabe auch die Firma oder die Fabrikmarke der betreffenden Fabrik mit deutlicher Schrift tragen.

Begründung zu I.

Im Interesse der Käufer und des sicheren Geschäfts ist die Durchführung eines einheitlichen Gewichts dringend geboten. Hierzu ist das weitaus gebräuchlichste und im Weltverkehr fast ausschliesslich geltende Gewicht von 180 kg brutto = ca. 400 Pfund englisch gewählt worden.

II. Bindezeit.

Je nach Art der Verwendung kann Portland-Cement langsam oder rasch bindend verlangt werden.

Als langsam bindend sind solche Cemente zu bezeichnen, welche erst in zwei Stunden oder in längerer Zeit abbinden.

Erläuterungen zu II.

Um die Bindezeit eines Cements zu ermitteln, rühre man den reinen langsam bindenden Cement drei Minuten, den rasch bindenden eine Minute lang mit Wasser zu einem steifen Brei an und bilde auf einer Glasplatte durch nur einmaliges Aufgeben einen etwa 1,5 cm dicken, nach den Rändern hin dünn auslaufenden Kuchen. Die zur Herstellung dieses Kuchens erforderliche Dickflüssigkeit des Cementbreies soll so beschaffen sein, dass der mit einem Spatel auf die Glasplatte gebrachte Brei erst durch mehrmaliges Aufstossen der Glasplatte nach den Rändern hin ausläuft, wozu in den meisten Fällen 27—30 pCt. Anmachwasser genügen. Sobald der Kuchen soweit erstarrt ist, dass derselbe einem leichten Druck mit dem Fingernagel widersteht, ist der Cement als abgebunden zu betrachten.

Für genaue Ermittelung der Bindezeit und zur Feststellung des Beginns des Abbindens, welche (da der Cement vor dem Beginn des Abbindens verarbeitet sein muss) bei rasch bindenden Cementen von Wichtigkeit ist, bedient man sich einer Normalnadel von 300 g Gewicht, welche einen cylindrischen Querschnitt von 1 qmm Fläche hat und senkrecht zur Achse abgeschnitten ist. Man füllt einen auf eine Glasplatte gesetzten Metallring von 4 cm Höhe und 8 cm lichtem Durchmesser mit dem Cementbrei von der oben angegebenen Dickflüssigkeit und bringt denselben unter die Nadel. Der Zeitpunkt, in welchem die Normalnadel den Cementkuchen nicht mehr gänzlich zu durchdringen vermag, gilt als der „Beginn des Abbindens“.

Die Zeit, welche verfliesst, bis die Normalnadel auf dem erstarrten Kuchen keinen merklichen Eindruck mehr hinterlässt, ist die „Bindezeit".

Da das Abbinden von Cement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, insofern hohe Temperatur dasselbe beschleunigt, niedrige Temperatur es dagegen verzögert, so empfiehlt es sich, die Versuche, um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, bei einer mittleren Temperatur des Wassers und der Luft von 15 – 18 ° C. vorzunehmen.

Während des Abbindens darf langsam bindender Cement sich nich wesentlich erwärmen, wohingegen rasch bindende Cemente eine merkliche Wärmeerhöhung aufweisen können.

Portland-Cement wird durch längeres Lagern langsamer bindend und gewinnt bei trockener zugfreier Aufbewahrung an Bindekraft. Die noch vielfach herrschende Meinung, dass Portland-Cement bei längerem Lagern an Güte verliere, ist daher eine irrige, und es sollten Vertragsbestimmungen, welche nur frische Ware vorschreiben, in Wegfall kommen.

III. Volumbeständigkeit.

Portland-Cement soll volumbeständig sein. Als entscheidende Probe soll gelten, dass ein auf einer Glassplatte hergestellter und vor Austrocknung geschützter Kuchen aus reinem Cement, nach 24 Stunden unter Wasser gelegt, auch nach längerer Beobachtungszeit durchaus keine Verkrümmungen oder Kantenrisse zeigen darf.

Erläuterungen zu III.

Zur Ausführung der Probe wird der zur Bestimmung der Bindezeit angefertigte Kuchen bei langsam bindendem Cement nach 24 Stunden, jedenfalls aber erst nach erfolgtem Abbinden, unter Wasser gelegt. Bei rasch bindendem Cement kann dies schon nach kürzerer Frist geschehen. Die Kuchen, namentlich von langsam bindendem Cement, müssen bis nach erfolgtem Abbinden vor Zugluft und Sonnenschein geschützt werden, am besten durch Aufbewahren in einem bedeckten Kasten oder auch unter nassen Tüchern. Es wird hierdurch die Entstehung von Schwindrissen vermieden, welche in der Regel in der Mitte des Kuchens entstehen und von Unkundigen für Treibrisse gehalten werden können.

Zeigen sich bei der Erhärtung unter Wasser Verkrümmungen oder Kantenrisse, so deutet dies unzweifelhaft „Treiben" des Cements an, d. h. es findet infolge einer Volumvermehrung ein Zerklüften des Cements unter allmählicher Lockerung des zuerst gewonnenen Zusammenhanges statt, welches bis zu gänzlichem Zerfallen des Cementes führen kann.

Die Erscheinungen des Treibens zeigen sich an den Kuchen in der Regel bereits nach drei Tagen; jedenfalls genügt eine Beobachtung von 28 Tagen.

IV. Feinheit der Mahlung.

Portland-Cement soll so fein gemahlen sein dass eine Probe desselben auf einem Sieb von 900 Maschen pro Quadratcentimeter höchstens 10 pCt. Rückstand hinterlässt. Die Drahtstärke des Siebes soll die Hälfte der Maschenweite betragen.

Begründung und Erläuterungen zu IV.

Zu jeder einzelnen Siebprobe sind 100 g Cement zu verwenden.

Da Cement fast nur mit Sand, in vielen Fällen sogar mit hohem Sandzusatz verarbeitet wird, die Festigkeit eines Mörtels aber um so grösser ist, je feiner der dazu verwendete Cement gemahlen war (weil dann mehr Teile des Cements zur Wirkung kommen), so ist die feine Mahlung des Cementes von nicht zu unterschätzendem Werte. Es scheint daher angezeigt, die Feinheit des Korns durch ein feines Sieb von obiger Maschenweite einheitlich zu prüfen.

Es wäre indessen irrig, wollte man aus der feinen Mahlung allein auf die Güte eines Cementes schliessen, da geringe weiche Cemente weit eher sehr fein gemahlen vorkommen, als gute scharf gebrannte. Letztere aber werden selbst bei gröberer Mahlung doch in der Regel eine höhere Bindekraft aufweisen, als die ersteren. Soll der Cement mit Kalk gemischt verarbeitet werden, so empfiehlt es sich, hart gebrannte Cemente von einer sehr feinen Mahlung zu verwenden, deren höhere Herstellungskosten durch wesentliche Verbesserung des Mörtels ausgeglichen werden.

V. Festigkeitsproben.

Die Bindekraft von Portland-Cement soll durch Prüfung einer Mischung von Cement und Sand ermittelt werden. Die Prüfung soll auf Zug- und Druckfestigkeit nach einheitlicher Methode geschehen, und zwar mittelst Probekörper von gleicher Gestalt und gleichem Querschnitt und mit gleichen Apparaten.

Daneben empfiehlt es sich, auch die Festigkeit des reinen Cements festzustellen.

Die Zerreissungsproben sind an Probekörpern von 5 qcm Querschnitt der Bruchfläche, die Druckproben an Würfeln von 50 qcm Fläche vorzunehmen.

Begründung zu V.

Da man erfahrungsgemäss aus den mit Cement ohne Sandzusatz gewonnenen Festigkeitsergebnissen nicht einheitlich auf die Bindefähigkeit zu Sand schliessen kann, namentlich wenn es sich um Vergleichung von Portland-Cementen aus verschiedenen Fabriken handelt, so ist es geboten, die Prüfung von Portland-Cement auf Bindekraft mittels Sandzusatz vorzunehmen.

Die Prüfung des Cements ohne Sandzusatz empfiehlt sich namentlich dann, wenn es sich um den Vergleich von Portland-Cementen mit gemischten Cementen und anderen hydraulischen Bindemitteln handelt, weil durch die

Selbstfestigkeit die höhere Güte bezw. die besonderen Eigenschaften des Portland-Cements, welche den übrigen hydraulischen Bindemitteln abgehen, besser zum Ausdruck gelangen, als durch die Probe mit Sand.

Obgleich das Verhältnis der Druckfestigkeit zur Zugfestigkeit bei den hydraulischen Bindemitteln ein verschiedenes ist, so wird doch vielfach nur die Zugfestigkeit als Wertmesser für verschiedene hydraulische Bindemittel benutzt. Dies führt jedoch zu einer unrichtigen Beurteilung der letzteren. Da ferner die Mörtel in der Praxis in erster Linie auf Druckfestigkeit in Anspruch genommen werden, so kann die massgebende Festigkeitsprobe nur die Druckprobe sein.

Um die erforderliche Einheitlichkeit bei den Prüfungen zu wahren, wird empfohlen, derartige Apparate und Geräte zu benutzen, wie sie bei der Königlichen Prüfungsstation in Charlottenburg-Berlin*) in Gebrauch sind.

VI. Zug- und Druckfestigkeit.

Langsam bindender Portland-Cement soll bei der Probe mit 3 Gewichtsteilen Normalsand auf 1 Gewichtsteil Cement nach 28 Tagen Erhärtung — 1 Tag an der Luft und 27 Tage unter Wasser — eine Minimal-Zugfestigkeit von 16 kg pro Quadratcentimeter haben. Die Druckfestigkeit soll mindestens 160 kg pro Quadratcentimeter betragen.

Bei schnell bindenden Portland-Cementen ist die Festigkeit nach 28 Tagen im Allgemeinen eine geringere als die oben angegebene. Es soll deshalb bei Nennung von Festigkeitszahlen stets auch die Bindezeit aufgeführt werden.

Begründung und Erläuterungen.

Da verschiedene Cemente hinsichtlich ihrer Bindekraft zu Sand, worauf es bei ihrer Verwendung vorzugsweise ankommt, sich sehr verschieden verhalten können, so ist insbesondere beim Vergleich mehrerer Cemente eine Prüfung mit hohem Sandzusatz unbedingt erforderlich. Als geeignetes Verhältnis wird angenommen: 3 Gewichtsteile Sand auf 1 Gewichtsteil Cement, da mit 3 Teilen Sand der Grad der Bindefähigkeit bei verschiedenen Cementen in hinreichendem Masse zum Ausdruck gelangt.

Cement, welcher eine höhere Zugfestigkeit bezw. Druckfestigkeit zeigt, gestattet in vielen Fällen einen grösseren Sandzusatz und hat, aus diesem Gesichtspunkte betrachtet, sowie oft schon wegen seiner grösseren Festigkeit bei gleichem Sandzusatz, Anrecht auf einen entsprechend höheren Preis.

Die massgebende Festigkeitsprobe ist die Druckprobe nach 28 Tagen, weil in kürzerer Zeit, beim Vergleich verschiedener Cemente, die Bindekraft nicht genügend zu erkennen ist. So können z. B. die Festigkeitsergebnisse verschiedener Cemente bei der 28 Tagesprobe einander gleich sein, während sich bei einer Prüfung nach 7 Tagen noch wesentliche Unterschiede zeigen.

*) Jetzt Königl. mechanisch-technische Versuchsanstalt.

Als Prüfungsprobe für die abgelieferte Ware dient die Zugprobe nach 28 Tagen. Will man jedoch die Prüfung schon nach 7 Tagen vornehmen, so kann dies durch eine Vorprobe geschehen, wenn man das Verhältnis der Zugfestigkeit nach 7 Tagen zur 28 Tagefestigkeit an dem betreffenden Cement ermittelt hat. Auch kann diese Vorprobe mit reinem Cement ausgeführt werden, wenn man das Verhältnis der Festigkeit des reinen Cements zur 28 Tagefestigkeit bei 3 Teilen Sand festgestellt hat.

Es empfiehlt sich, überall da, wo dies zu ermöglichen ist, die Festigkeitsproben an zu diesem Zwecke vorrätig angefertigten Probekörpern auf längere Zeit auszudehnen, um das Verhalten verschiedener Cemente auch bei längerer Erhärtungsdauer kennen zu lernen.

Um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, muss überall Sand von gleicher Korngrösse und gleicher Beschaffenheit benutzt werden. Dieser Normalsand wird dadurch gewonnen, dass man möglichst reinen Quarzsand wäscht, trocknet, durch ein Sieb von 60 Maschen pro Quadratzentimeter siebt, dadurch dle gröbsten Teile ausscheidet und aus dem so erhaltenen Sande mittelst eines Siebes von 120 Maschen pro Quadratzentimeter noch die feinsten Teile entfernt. Die Drahtstärke der Siebe soll 0,38 mm beziehungsweise 0,32 mm betragen.

Da nicht alle Quarzsande bei der gleichen Behandlungsweise die gleiche Festigkeit ergeben, so hat man sich zu überzeugen, ob der zur Verfügung stehende Normalsand mit dem unter der Prüfung des Vorstandes des Deutschen Cementfabrikanten-Vereins gelieferten Normalsande, welcher auch von der Königlichen Prüfungsstation in Charlottenburg-Berlin benutzt wird, übereinstimmende Festigkeitsergebnisse giebt.

Beschreibung der Proben zur Ermittelung der Zug- und Druckfestigkeit.

Da es darauf ankommt, dass bei Prüfung desselben Cements an verschiedenen Orten übereinstimmende Ergebnisse erzielt werden, so ist auf die genaue Einhaltung der im Nachstehenden gegebenen Regeln ganz besonders zu achten.

Zur Erzielung richtiger Durchschnittszahlen sind für jede Prüfung mindestens **10** Probekörper anzufertigen.

Anfertigung der Cement-Sand-Proben.

Zugproben.

Die Zugprobe-Körper können entweder durch Handarbeit oder durch maschinelle Vorrichtungen angefertigt werden.

a) Handarbeit. Man legt auf eine zur Anfertigung der Proben dienende Metall- oder starke Glasplatte 5 mit Wasser getränkte Blättchen Fliesspapier und setzt auf diese 5 mit Wasser angenetzte Formen. Man wiegt 250 g Cement und 750 g trockenen Normalsand ab und mischt beides in einer Schüssel gut durcheinander. Hierauf bringt man 100 cbcm = 100 g reines süsses Wasser hinzu und arbeitet die ganze Masse 5 Minuten lang tüchtig durch. Mit dem so erhaltenen Mörtel werden die Formen unter

Eindrücken auf einmal so hoch angefüllt, dass sie stark gewölbt voll werden. Man schlägt nun mittels eines eisernen Spatels von 5 auf 8 cm Fläche, 35 cm Länge und im Gewicht von circa 250 g den überstehenden Mörtel anfangs schwach und von der Seite her, dann immer stärker, so lange in die Formen ein, bis derselbe elastisch wird und an seiner Oberfläche sich Wasser zeigt. Ein bis zu diesem Zeitpunkt fortgesetztes Einschlagen von etwa 1 Minute pro Form ist unbedingt erforderlich. Ein nachträgliches Aufbringen und Einschlagen von Mörtel ist nicht statthaft, weil die Probekörper aus demselben Cement an verschiedenen Versuchsstellen gleiche Dichten erhalten sollen. — Man streicht nun das die Form Ueberragende mit einem Messer ab und glättet mit demselben die Oberfläche. Man löst die Form vorsichtig ab und setzt die Probekörper in einen mit Zink ausgeschlagenen Kasten, der mit einem Deckel zu bedecken ist, um ungleichmässiges Austrocknen der Proben bei verschiedenen Wärmegraden zu verhindern. 24 Stunden nach der Anfertigung werden die Probekörper unter Wasser gebracht, und man hat nur darauf zu achten, dass dieselben während der ganzen Erhärtungsdauer vom Wasser bedeckt bleiben.

b) Maschinenmässige Anfertigung. Nachdem die mit dem Füllkasten versehene Form auf der Unterlagsplatte durch die beiden Stellschrauben festgeschraubt ist, werden für jede Probe 180 g des wie in a) hergestellten Mörtels in die Form gebracht, und wird der eiserne Formkern eingesetzt. Man giebt nun mittels des Schlagapparates von Dr. Böhme mit dem Hammer von 2 kg 150 Schläge auf den Kern.

Nach Entfernung des Füllkastens und des Kerns wird der Probekörper abgestrichen und geglättet, samt der Form von der Unterlagsplatte abgezogen und im Uebrigen behandelt wie unter a).

Bei genauer Einhaltung der angegebenen Vorschriften geben Handarbeit und maschinenmässige Anfertigung gut übereinstimmende Ergebnisse. In streitigen Fällen ist jedoch die maschinenmässige Anfertigung die massgebende.

Druckproben.

Um bei Druckproben an verschiedenen Versuchsstellen zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, ist maschinenmässige Anfertigung erforderlich.

Man wiegt 400 g Cement und 1200 g trockenen Normalsand ab, mischt beides in einer Schüssel gut durcheinander, bringt 160 cbcm = 160 g Wasser hinzu und arbeitet den Mörtel 5 Minuten lang tüchtig durch. Von diesem Mörtel füllt man 860 g in die mit Füllkasten versehene und auf die Unterlagsplatte aufgeschraubte Würfelform. Man setzt den eisernen Kern in die Form ein und giebt auf denselben mittels des Schlagapparates von Dr. Böhme mit dem Hammer von 2 kg 150 Schläge.

Nach Entfernung des Füllkastens und des Kerns wird der Probekörper abgestrichen und geglättet, mit der Form von der Unterlagsplatte abgezogen und im Uebrigen behandelt wie unter a).

Anfertigung der Proben aus reinem Cement.

Man ölt die Formen auf der Innenseite etwas ein und setzt dieselben auf eine Metall- oder Glasplatte (ohne Fliesspapier unterzulegen). Man wiegt nun 1000 g Cement ab, bringt 200 g = 200 cbcm Wasser hinzu und arbeitet die Masse (am besten mit einem Pistill) 5 Minuten lang durch, füllt die Formen stark gewölbt voll und verfährt wie unter a). Die Formen kann man jedoch erst dann ablösen, wenn der Cement genügend erhärtet ist.

Da beim Einschlagen des reinen Cements Probekörper von gleicher Festigkeit erzielt werden sollen, so ist bei sehr feinem oder bei rasch bindendem Cement der Wasserzusatz entsprechend zu erhöhen.

Der angewandte Wasserzusatz ist bei Nennung der Festigkeitszahlen stets anzugeben.

Behandlung der Proben bei der Prüfung.

Alle Proben werden sofort bei der Entnahme aus dem Wasser geprüft. Da die Zerreissungsdauer von Einfluss auf das Resultat ist, so soll bei der Prüfung auf Zug die Zunahme der Belastung während des Zerreissens 100 g pro Sekunde betragen. Das Mittel aus den 10 Zugproben soll als die massgebende Zugfestigkeit gelten.

Bei der Prüfung der Druckproben soll, um einheitliche Ergebnisse zu erhalten, der Druck stets auf 2 Seitenflächen der Würfel ausgeübt werden, nicht aber auf die Bodenfläche und die bearbeitete obere Fläche. Das Mittel aus den 10 Proben soll als die massgebende Druckfestigkeit gelten.

Diese Normen haben, veranlasst durch das immer mehr um sich greifende Verfahren der Zumischung fremder Stoffe zum Portland-Cement am 6. Juli 1882 eine Ergänzung erfahren durch eine Erklärung, die bereits im Abschnitt I dieses Buches (S. 12) in ihrem Wortlaute mitgeteilt wurde.

Mit ihrer Unterschrift leisten die Mitglieder des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten für die Innehaltung dieser Erklärung Gewähr und gestehen dem Vorstand die Kontrole über ihr Produkt nach der Richtung der Reinheit hin zu.

Eine zweite Ergänzung haben die Normen kürzlich erfahren. Es hatte sich herausgestellt, dass bei der Prüfung von Cement an verschiedenen Orten häufig auffallende Abweichungen in den Versuchsergebnissen gefunden wurden, die den Wert der Prüfung fraglich erscheinen liessen. Nachdem erkannt war, dass die Hauptursache dieser Abweichungen in dem verschiedenen Wasserzusatz und in dem Mischverfahren zu suchen ist, war man bestrebt, diese Fehlerquellen zu beseitigen.

Mit der sehr viel sorgfältiger vorgenommenen Feinmahlung der Cemente ist der in den Normen vorgeschriebene Wasserzusatz von 10 pCt. fast durchweg zu hoch geworden, der Cementmörtel wird mit 10 pCt. Wasser zu nass. Man hat deshalb, um die Körper in der vor-

geschriebenen Weise einschlagen zu können, notgedrungen zu niedrigeren Wasserzusätzen greifen müssen, und da im allgemeinen die Festigkeit um so höher ausfällt, je niedriger der Wasserzusatz gewählt und je stärker der Normenmörtel beim Mischen bearbeitet wird, ist allmählich eine Fehlerquelle entstanden, die zu beseitigen nur durch Einführung eines einheitlichen Mischverfahrens zu erhoffen war.

Ein solches einheitliches Mischverfahren ist in der Versuchsanstalt zu Charlottenburg gemeinsam mit dem Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten ausgearbeitet und von dem Herrn Minister der öffentlichen Arbeiten in Preussen durch Erlass vom 19. Februar 1902 als Ergänzung bezw. zur Abänderung der Normenvorschriften den nachgeordneten Behörden in folgender Form mitgeteilt worden:

Die im Absatz VI der Normen für die einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement vom 28. Juli 1887 gegebenen Vorschriften zur Anfertigung der Cement-Sand-Proben (Zugproben und Druckproben) werden durch folgende Bestimmungen ersetzt:

Herstellung des Normenmörtels (1:3) und der Probekörper für die Festigkeitsversuche.

a) Mischen des Mörtels.

Das Mischen des Mörtels aus 1 Gew. Thl. Cement + 3 Gew. Thl. Normalsand soll mit der Mörtelmischmaschine Bauart Steinbrück-Schmelzer*), wie folgt geschehen: 500 g Cement und 1500 g Normalsand werden zunächst trocken mit einem leichten Löffel*) in einer Schüssel eine halbe Minute lang gemischt. Dem trockenen Gemisch wird die vorher zu bestimmende Wassermenge zugesetzt. Die feuchte Masse wird abermals eine halbe Minute lang gemischt, dann in dem Mörtelmischer gleichmässig verteilt und durch 20 Schalenumdrehungen bearbeitet.

b) Bestimmung des Wasserzusatzes.

Die Ermittelung des Wasserzusatzes zum Normenmörtel erfolgt unter Benutzung von Würfelformen in folgender Weise:

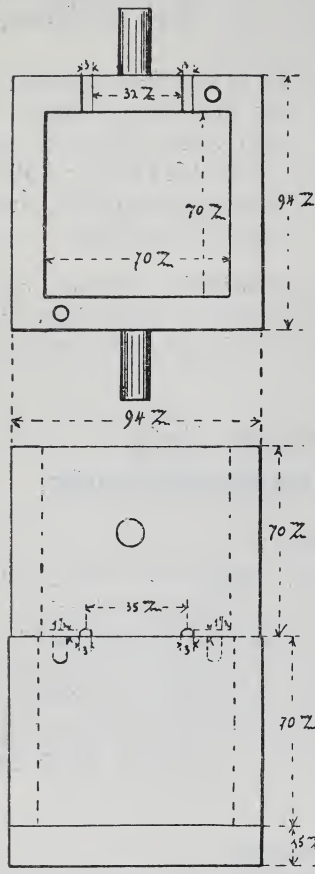
Trockene Mörtelgemische in oben angegebener Menge werden beim ersten Versuch mit 160 g (8%) und, wenn nöthig, beim zweiten Versuch mit 200 g (10%) Wasser angemacht und im Mörtelmischer, wie vorgeschrieben, gemischt.

860 g des fertig gemischten Mörtels werden in die Druckform, deren Aufsatzkasten am unteren Rande mit zwei Nuthen nach umstehender Skizze*) versehen ist, gefüllt und im Hammerapparat von Böhme (mit Festhaltung nach Martens*) mit 150 Schlägen eingeschlagen.

---

*) Die Apparate können durch das Chemische Laboratorium für Thonindustrie, Berlin N.W. 5, Kruppstr. No. 6, bezogen werden.

Nach dem Verhalten des Mörtels beim Einschlagen ist zu beurteilen, welcher Grenze der richtige Wasserzusatz am nächsten liegt; danach sind die Versuche mit verändertem Wasserzusatz fortzusetzen.



Der Wasserzusatz ist richtig gewählt, wenn zwischen dem 90. und 110. Schlage aus einer der beiden Nuthen Cementbrei auszufliessen beginnt.

Das Mittel aus 3 Versuchskörpern mit gleichem Wasserzusatz ist massgebend und gilt sowohl für Anfertigung der Zug- als auch der Druckproben.

Der Austritt des Wassers erfolgt bei noch trockenen Aufsatzkästen langsamer als bei schon einmal benutzten, desshalb ist der Versuch bei erstmaliger Benutzung des Aufsatzkastens unsicher.

Die Beurteilung des Wasseranspruchs nach dem Schlammaustritt bei Zugproben ist unzuverlässig.

c) Herstellung der Probekörper.

Die Anfertigung der Probekörper aus Normenmörtel für die Zug- und Druckversuche soll, wie folgt, geschehen:

180 g des vorschriftsmässig gemischten Mörtels werden in die Normalzugformen und 860 g Mörtel in die Normal-Würfelformen gebracht und im Hammerapparat (Bauart Böhme) mit Festhaltung (Bauart Martens) unter Anwendung von 150 Schlägen eingeschlagen.

Die aus 500 g Cement und 1500 g Normalsand angemachte Mörtelmenge reicht zur Anfertigung von zwei Zugproben und zwei Druckproben aus.

Die Körper werden mit der Form auf nicht absaugender Unterlage in feucht gehaltene bedeckte Kästen gebracht und die Zugproben nach etwa einer halben Stunde, die Druckproben nach etwa 20 Stunden entformt; 24 Stunden nach erfolgter Herstellung kommen die Körper aus den Kästen unter Wasser von 15 – 18 C°, aus dem sie erst unmittelbar vor der Prüfung entnommen werden dürfen.

Der in diesen Vorschriften erwähnte Mischapparat ist weiter unten (S. 62) beschrieben und in Fig. 7 – 9 abgebildet.

d. Wie prüft man Portland-Cement?

1. Feinheit.

In den Normen ist nur das 900 Maschensieb als Normalsieb festgelegt und zwar ist bestimmt, dass dieses Sieb 0,222 mm Maschenweite und 0,111 mm Drahtstärke besitzen soll. Gewöhnlich wird ein Messingdrahtgewebe, welches in einen viereckigen Holzrahmen eingespannt ist, gewählt.

Infolge der Ungleichmässigkeit der im Handel vorkommenden Siebe werden die Ergebnisse häufig grosse Schwankungen aufweisen; an einem Orte findet man grössere Siebrückstände als am anderen. Dazu kommt, dass die moderne Cementmüllerei längst so erheblich fortgeschritten ist, dass das 900 Maschensieb kaum noch einen Massstab für die Mahlung des Portland-Cements abgiebt. Seit lange ist man deshalb gewöhnt, zur Feststellung des Siebfeinsten im Cement noch ein Sieb von 5000 Maschen auf 1 qcm einzuschalten, aber selbst auf diesem sehr feinen Sieb hinterlassen die meisten Portland-Cemente kaum mehr als 20 pCt. Rückstand.

Um die Handsiebung zu ersparen, benutzt Professor v. Tetmajer eine kleine Maschine, die mit Zählwerk ausgerüstet ist und eine Siebbüchse trägt, auf deren Gewebe der abzusichtende Cement in gewogenen Mengen gerüttelt wird. Nach bestimmter Hubzahl der Maschine wird dann der Rückstand auf jedem der untereinander nach ihrer Feinheit angeordneten Siebe festgestellt. Sehr feine Cemente lassen sich indessen mit dieser Maschine nicht zuverlässig sichten.

Um dem Mangel der Ungleichmässigkeit der Siebgewebe auszuweichen und die Möglichkeit der Sichtung gerade des Siebfeinsten zu gewähren, haben Gary und Lindner einen Apparat erdacht, der den Luftstrom zum Sieben benutzt, und namentlich auch zur Scheidung des feinsten Mehles dienen soll, welches gerade chemisch am wirksamsten ist, sich aber bisher der Controle entzog. Auf dem Wege der Luftsichtung lassen sich auch die feinsten Teile der Bindemittel noch zerlegen, wobei die Korngrössen der Teilmengen, falls dies erforderlich erscheint, unter dem Mikroskop festgestellt werden können. Bei Anwendung von Apparaten mit gleichbleibenden Abmessungen, gleicher Cementmenge und gleichbleibender Spannung der Druckluft wird man in immer gleicher Weise mehrere Teilmengen erzeugen und deren Menge nach Gewicht in Prozenten, bezogen auf die angewandte Gesamtmenge, feststellen können.

Das grösste Interesse beansprucht die Feststellung, wie gross die Menge des feinsten Staubes im Bindemittet ist. Ausserdem bietet sich aber Gelegenheit, zu beobachten, ob etwa ein Cement beim Lagern eine Veränderung in der Korngrösse erleidet, was mit den Gewebesieben nicht möglich war.

Der Apparat von Gary-Lindner besteht aus drei mit einander verbundenen weiten Glasröhren, die unten in spitze Trichter endigen, in welche konzentrisch je ein Glasröhrchen zur Luftzuführung eingeschmolzen ist.

In den ersten Trichter kommen 20 g des zu prüfenden Pulvers, worauf der Windstrom unter bestimmtem, an einem U-Manometer beobachteten Druck eingeblasen wird.

In den Trichtern bleibt je eine Teilmenge zurück und das Feinste verstäubt am Ende der Glasröhre und wird dort in einem weiten Glasgefäss aufgefangen. Die Untersuchung der Teilmengen, z. B. auf spezifisches Gewicht, Alkalinität, Säureverbrauch, Chamäleonverbrauch, Gehalt an Sulfidschwefel, kann wertvolle Aufschlüsse über die grössere oder geringere Gleichartigkeit der Zusammensetzung der Cemente geben.

Das Verfahren ist in der Versuchsanstalt noch in der Ausbildung begriffen.

2. Gewicht.

Für das Raumgewicht, d. h. das Gewicht der Raumeinheit des Portland-Cementes sind in den preussischen Normen bestimmte Grenzwerte nicht gegeben. Die Vorschrift beschränkt sich vielmehr auf die Bestimmung des Brutto- und Nettogewichts der in den Handel kommenden Normalfässer. Die Grösse der Fässer ist nicht vorgeschrieben.

Obgleich also nicht ein Mindestraumgewicht gefordert wird, ist die Bestimmung des Raumgewichts doch üblich geworden und zwar im lose eingelaufenen und im fest eingerüttelten Zustande des Cementpulvers. Ein einheitliches Verfahren für diese Bestimmung besteht indessen leider noch nicht. Nicht einmal die Form des Litergefässes ist einheitlich; es wird sowohl das alte preussische Flüssigkeitsmass als auch das Litermass für körnige Substanzen oder auch ein Cylindergefäss von einem Liter Inhalt, dessen Durchmesser gleich der Höhe ist, oder ein Kubikdecimeter benutzt.

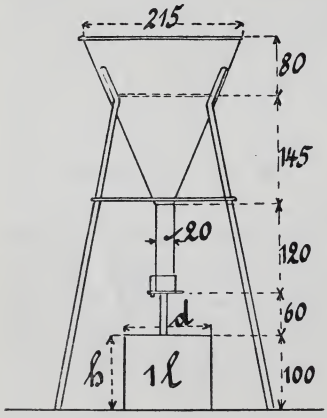


Fig. 1.

Für die Bestimmung des Gewichts des Cementes im eingerüttelten Zustande ist die Form des Gefässes von geringer Bedeutung, dagegen spielt sie für die Bestimmung des Raumgewichts im eingelaufenen Zustande eine grosse Rolle. Gegenwärtig benutzt man an einzelnen Orten eine unter bestimmtem Winkel geneigte Ebene, auf die man das Pulver streut, um

es in das Gefäss hineingleiten zu lassen. An anderen Stellen siebt man den Cement in das Gefäss ein, und in Frankreich ist ein trichterförmiger Apparat in Gebrauch, der jetzt auch in Deutschland zur Anwendung empfohlen wird.

In der Mitte eines Trichters (Fig. 1) befindet sich ein gelochtes Blech mit Löchern von 2 mm Durchmesser. Die Mündung des unten durch einen Schieber verschliessbaren Trichters soll beim Einlaufen 50 mm über dem Litergefäss stehen. Das Bindemittel wird in kleinen Mengen (300 bis 400 g) in den Trichter geschüttet und mittelst Spachtels durch das Sieb getrieben. Man hört mit der Füllung auf, sobald der Fuss des Kegels, der sich beim Einlaufen bildet, mit dem oberen Rande des Litergefässes gleich steht. Darauf wird die Oberfläche abgestrichen und das Gewicht des Bindemittels im Litergefäss bestimmt.

Als Litergefäss wird ein aus Messing hergestelltes cylindrisches Gefäss in den durch die preussische Aichordnung für das Litergefäss zum Messen körniger Substanzen vorgeschriebenen Abmessungen benutzt.

Neben dem Raumgewicht ist die Bestimmung des spezifischen Gewichts des Cementes von besonderer Bedeutung, weil das spezifische Gewicht einen gewissen Massstab für den Brenngrad des Cementes abgiebt.

Der einfachste Apparat zur Bestimmung des spezifischen Gewichts ist das Volumenometer von Schumann (Fig. 2). Leichtere Handhabung und schnellere Bestimmung des spezifischen Gewichts gestattet der Apparat nach F. M. Meyer (Fig. 3).

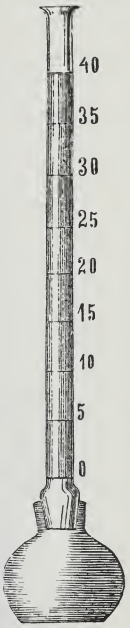


Fig. 2.

Der Apparat ist auf einer starken Platte befestigt und wird auf die Tischkante gestellt, so dass der *a* und *b* verbindende Gummischlauch frei herabhängt. Dann giesst man durch den Hahn *h* vermittelst eines Kapillartrichterrohres etwa 110 ccm Alkohol, wobei das Fläschchen *f* entsprechend gesenkt ist, bringt die Marken *m* und *m'* auf gleiche Höhe und füllt unter Zuhilfenahme des Trichterrohres durch den Stopfen *s* so viel Alkohol nach, dass er nahe unter den Marken *m* und *m'* steht.

Durch Heben des Fläschens *f* wird dann die Bürette bis an die Bohrung des Hahnes *h* gefüllt und *f* — ohne den Hahn zu schliessen — in die ursprüngliche Lage gebracht. Nach 5 Minuten wird *m* und *m'* aufs neue durch Zugiessen von Alkohol oder mit Hilfe der Mikrometerschraube *s'* genau eingestellt. Alsdann wird der Rand des Stopfens *s* äusserlich sorgfältig mit Filtrierpapier getrocknet, *f* gehoben, bis der Alkohol nahe unter der Bohrung des Hahnes *h* steht, und der Hahn geschlossen.

Nun entfernt man den Stopfen *s* von dem Fläschchen *f*, füllt 30 g Portland-Cement ein und schüttelt letzteren etwas in dem Fläschchen. Dann setzt man den Stopfen *s* wieder ein, öffnet den Hahn *h* und senkt *f* so weit, bis der Alkohol die Marke *m* erreicht. Nach Verlauf von 3 Minuten wird nochmals genau eingestellt und an der Bürette der Rauminhalt des Cementes abgelesen. Aus dem Rauminhalt ist nach der Formel $s = \frac{g}{v}$ das specifische Gewicht zu berechnen oder unmittelbar aus einer Tabelle abzulesen, die jedem Apparat beigegeben wird.

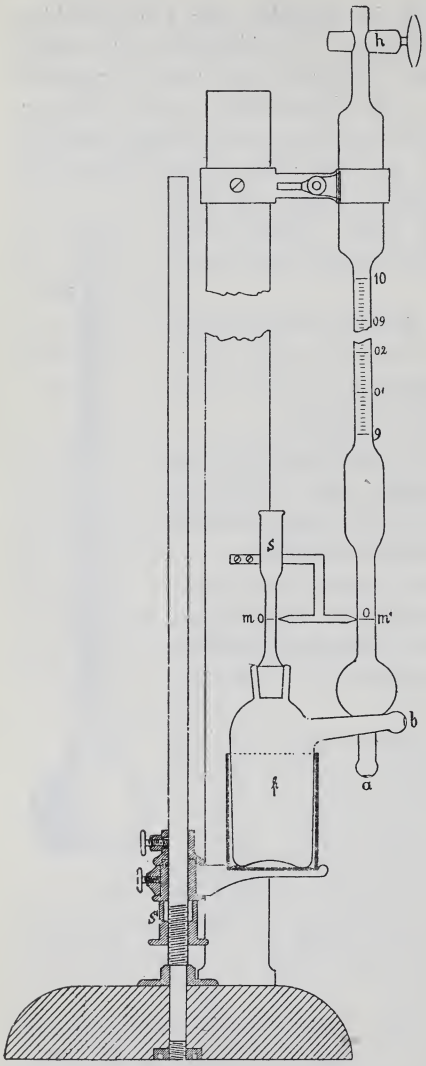


Fig. 3.

Zum Gebrauche des Apparates ist denaturierter Alkohol zu benutzen, der unter häufigem Umschütteln einige Tage über Portland-Cement gestanden hat und dann durch Filtrieren von demselben getrennt ist.

Eine ebenso gute und schnelle Bestimmung des spezifischen Gewichts gestattet der Apparat von Erdmenger und Mann (Fig. 4).

Der Apparat hatte in seiner älteren Form einige Mängel, die in der Versuchsanstalt zu Charlottenburg abgestellt sind. Er besteht aus einer Bürette von 50 ccm Inhalt, die oben und unten in einen Mantel (Kühler) eingeschmolzen ist; das obere, offene Ende der Röhre ist zur Abhaltung von Staub mit einer Glaskappe lose bedeckt; am unteren Ende geht die Bürette in einen Geisslerschen Hahn über.

Der Kühler hat oben zwei Oeffnungen, die eine zum Entweichen bezw. Eintreten der Luft beim Füllen oder Ablassen des Wassers, die zweite zur Aufnahme eines kleinen Thermometers, um die Temperatur des Kühlwassers stetig zu beobachten, die auf 15 ⁰ C. zu erhalten ist, da bei dieser Temperatur die Röhre geteilt wurde.

Die Bürette ist in eine weithalsige Flasche mit doppelt durchbohrtem Gummistopfen durch die vordere, dem Arbeitenden zugekehrte Durchbohrung bis nahezu auf den Grund eingeführt; durch die zweite Bohrung führt ein kurzes Glas-T-Stück bis etwas unter den Stopfen. An dem einen äusseren Ende befindet sich der Druckball, das andere ist mit einem Korken verschlossen, durch dessen Oeffnen der Ueberdruck aus dem Apparat entfernt werden kann. Gleichzeitig dient diese Oeffnung zum Ein- und Nachfüllen der Messflüssigkeit unter Zuhülfenahme eines dem Apparate beigegebenen Trichters. Die Bürette selbst ist folgendermassen eingerichtet: Am unteren Teile oberhalb des Flaschenstopfens befindet sich ein einfacher Glashahn (zur Füllung der Bürette), darüber liegt ein Ansatzrohr mit Hahn (zum Auslassen der Messflüssigkeit aus der Bürette). Ueber dem Ansatzrohr beginnt die Teilung der Bürette. Unten liegt bei den neueren Apparaten die 0-Marke. Von 0 – 15 ccm ist die Bürette in 1/20 ccm geteilt, oberhalb der 15 ccm-Marke ist die Bürette erweitert, um sich dann wieder zur Aufnahme der 50 ccm-Marke zu verengen. Bürette und Flasche sind fest mit einem Stativ verbunden, doch so, dass sie, wenn gewünscht, bequem von einander getrennt werden können, was aber im allgemeinen und insbesondere zur Füllung nicht notwendig ist.

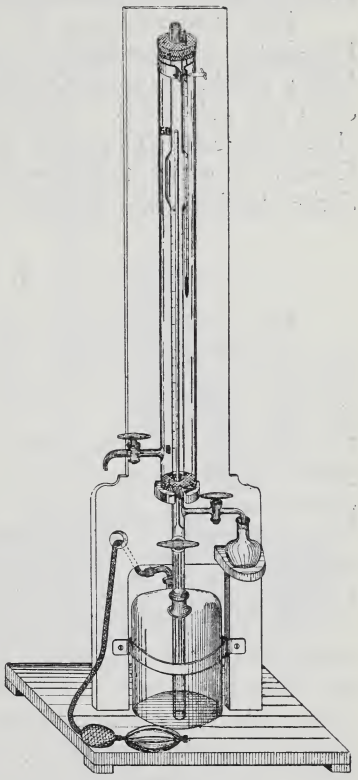


Fig. 4.

Kautschukverbindungen sind, weil sie von der Flüssigkeit (Terpentin, Petroleum usw.) angegriffen werden, vermieden.

Die Gewichts-Bestimmung wird ausgeführt in kleinen, möglichst engen und kurzhalsigen, am zweckmässigsten aus starkem Glase gefertigten Kölbchen von 50 ccm Inhalt, die während des Versuches in ein Gefäss mit Wasser gestellt werden, dessen Temperatur die gleiche ist, wie die des Kühlers. Als Flüssigkeit wird am vorteilhaftesten Terpentinöl angewendet.

Zur Ausführung der Bestimmung werden 25 oder auch 50 g des Cementpulvers genau (bis auf 1/10 mg) abgewogen. Substanzen, die

in Form von Stücken zur Bestimmung gelangen, z. B. Cementprobekörper oder Kalksteine usw. werden am besten direkt in dem Bestimmungskölbchen abgewogen; bei pulverförmigen Substanzen jedoch hat es sich gezeigt, dass es besser ist, sie auf einem Uhrglase oder dergleichen abzuwiegen und vor ihrer Eintragung mittelst Trichters in das Kölbchen etwa 20 ccm Flüssigkeiten aus der Röhre einfliessen zu lassen, damit die Substanz schneller mit der Flüssigkeit benetzt und sich so rascher die Luft zugleich unter vorsichtigem Umschwenken aus dem Kölbchen entfernen lässt.

Man lässt nun aus der bis zur 50 ccm Marke gefüllten Bürette Flüssigkeit bis zur Marke in das Kölbchen fliessen und liest an der Röhre direkt die ccm ab (da die Röhre von 0 – 50 von unten nach oben hin geteilt ist). Diese Anzahl ccm, dividiert in die angewandte, abgewogene Menge, ergiebt das spezifische Gewicht. Sind z. B. 35 g Cement verwandt und werden 10,95 ccm abgelesen, so ist das spezifische Gewicht des Cementes 35,00: 10,95 = 3,196.

3. Bindezeit.

Da in den meisten Fällen nicht von vornherein bekannt ist, ob ein zu prüfender Cement schnell bindend oder langsam bindend ist, werden zunächst alle Cemente 3 Minuten lang angerührt; binden sie dann in weniger als 2 Stunden ab, so werden andere Proben 1 1/2 Minuten lang angerührt, weil die Erfahrung gelehrt hat, dass es schwierig ist, in einer Minute 300 oder 400 g Cement mit Wasser gleichmässig zu verrühren. Die Benutzung einer genau gleichen Menge Cement ist aber erforderlich, wenn gleichmässige Resultate erzielt werden sollen. Zum Einrühren des Cementbreies wird mit Vorteil ein emaillierter Blechbecher und ein breites Messer benutzt.

Da die Menge des zum Einrühren verwendeten Wassers selbstverständlich von grossem Einfluss auf die Abbindezeit ist, muss man diese Menge einheitlich bestimmen. Die Ermittelung der sogenannten „Normalkonsistenz“ mit Hülfe eines in den Brei eintauchenden belasteten Cylinderchens ist unsicher, deshalb geht man in der Versuchsanstalt zu Charlottenburg von der sogenannten Syrupskonsistenz aus, d. h. man setzt nach und nach zum Cement so viel Wasser zu, bis der mit dem Messer in dem Blechtopf gut und schnell durchgerührte Brei, wenn man ihn vom Messer ablaufen lässt, wie Syrup lange, dünne Fäden zieht, ohne Klumpen zu bilden. Bei einiger Uebung lässt sich auf diese Weise der Wasserzusatz bis auf 1/2 pCt. genau gleichmässig ermitteln.

Der Wasserzusatz für die syrupartige Beschaffenheit schwankt bei Portland-Cement im allgemeinen zwischen 32 und 38 pCt. und liegt nur selten ausserhalb dieser Grenze. Zu diesem Brei wird nun nach und nach gewogenes Cementpulver unter beständigem Rühren zugesetzt,

bis die Masse anfängt, sich zu ballen, nicht mehr am Gefäss zu haften und auf der Oberfläche speckig glänzend zu werden.

Von dieser Masse wird ein dicker Klumpen mit dem zum Rühren benutzten Messer auf eine Glasplatte gebracht und durch mehrmaliges Aufstossen auf derselben ausgebreitet. Eine solche Platte kann für die Bestimmung der Bindezeit mit dem Fingernagel dienen.

Für die genauere Bestimmung der Bindezeit füllt man mit dem eben beschriebenen dicken Brei einen auf eine Glasplatte gesetzten konischen Hartgummiring an und bringt diesen unter den Nadelapparat nach Vicat (Fig. 5).

Man hält denjenigen Zeitpunkt, in welchem die Nadel beim Durchdringen des noch weichen Kuchens 5 mm über dem Boden stehen bleibt, für den Erhärtungsbeginn. Der Cement gilt für abgebunden, wenn die Nadel auf dem Kuchen keinen merklichen Eindruck mehr hinterlässt.

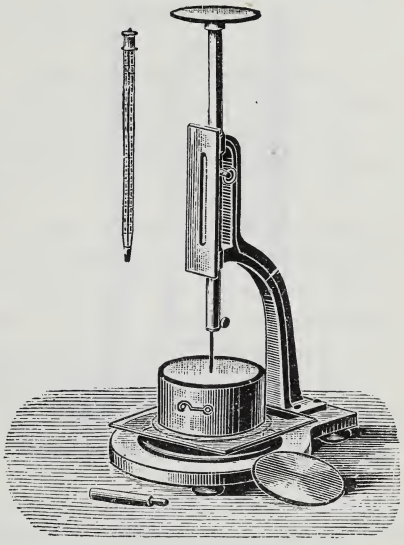


Fig. 5.

Die Beurteilung dieses Zeitpunktes ist nicht ganz leicht. Die Oberseite des Cementkuchens überzieht sich meist mit einer feinen, schwammigen Haut, auf welcher die Nadel noch längere Zeit nach erfolgtem Abbinden Spuren hinterlässt. Zweckmässig wird deshalb nach dem Beginn des Abbindens der Ring mit Kuchen von der Glasplatte abgezogen und mit der Unterseite nach oben wieder auf die Glasplatte unter die Nadel gesetzt.

An dieser völlig ebenen Unterseite wird nun die Vollendung des Abbindevorganges durch wiederholtes vorsichtiges Aufsetzen der Nadel erprobt und das Abbinden als vollendet angesehen, wenn die Nadel keinen ringförmigen Eindruck mehr, sondern nur noch eine kaum sichtbare Spur auf der Fläche zurücklässt. Die Bestimmung dieses Zeitpunktes erfordert eine gewisse Uebung und eine gleichmässige Behandlung des Kuchens und der Nadel.

Da das Abbinden von Cement durch die Temperatur der Luft und des zur Verwendung gelangenden Wassers beeinflusst wird, insofern hohe Temperatur dasselbe beschleunigt, niedrige Temperatur es dagegen verzögert, so empfiehlt es sich, die Versuche, um zu übereinstimmenden Ergebnissen zu gelangen, bei einer mittleren Temperatur des Wasser und der Luft von 15 – 18 ^{0} C. vorzunehmen. Während des Abbindens darf langsam bindender Cement sich nicht wesentlich er-

wärmen, wohingegen rasch bindende Cemente eine merkliche Wärmeerhöhung aufweisen können.

Für die Messung der Luftwärme und der Wasserwärme (sowie auch der Cementwärme) wird ein Thermometer benutzt, welches in halbe Grade eingeteilt und in unmittelbarer Nähe des Vicatschen Nadelapparates aufgehängt ist. Zur Messung der Wärmeerhöhung des abbindenden Portland-Cementes dient ein Maximum-Thermometer mit cylindrischem, nach unten etwas sich verjüngendem Quecksilbergefäss und Einteilung in Fünftelgrade, welches nach dem Ausfüllen des Ringes mit dem Cementbrei in den Brei gesteckt und während des Verlaufes der Erhärtung beobachtet wird. Dieses Thermometer gestattet die Schätzung von Zehntelgraden.

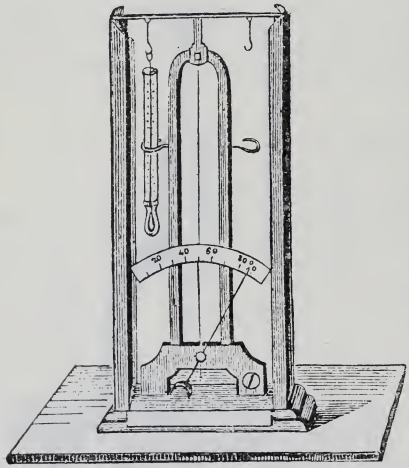


Fig. 6.

Grösste Sorgfalt bei der Versuchsausführung hat sich als notwendig herausgestellt, da die geringsten Abweichungen in Bezug auf Stärke und Dauer der Mischung, Menge des verwandten Cementes, Wärme und Feuchtigkeit zu sehr bedeutenden Schwankungen in der Bindezeit der Cemente führen.

Um die Ausführung möglichst gleichmässiger Versuche neben einander mit Ausschluss der Handarbeit zu ermöglichen, hat Martens drei Vicatsche Nadelapparate mit einer mechanischen Einrichtung zum elektrischen Antrieb verbunden und zu selbstthätiger Aufzeichnung des Abbindeverlaufes eingerichtet.

Von erheblichem Einflusse auf den Verlauf des Abbindens ist neben der Luft- und Wasserwärme vor allem auch der Gehalt der Luft an Feuchtigkeit. Es ist deshalb notwendig, gleichzeitig die Feuchtigkeit der Luft zu messen. Hierzu dient ein Hygrometer.

Das in Fig. 6 abgebildete Saussure-Koppesche Haar-Hygrometer besteht aus einem entfetteten Haar, welches am oberen Ende um eine mit dem Uhrschlüssel drehbare Achse und am unteren Ende um eine kleine Rolle geschlungen ist, deren Achse einen Zeiger trägt. Ein kleines Gewicht hält das Haar in Spannung. Eine einfache Vorrichtung ermöglicht die Prüfung des Instrumentes und mittelst der oberen Achse die Neueinstellung des Zeigers auf 100 bei vollkommener Sättigung der Luft in Wasserdampf. Die Skala giebt die relative Feuchtigkeit der Luft an. Um gleichzeitig auch die Luftwärme beobachten zu können, ist neben dem Haar ein Thermometer aufgehängt.

Der Vorteil dieses Hygrometers vor anderen Haarhygrometern besteht in der Leichtigkeit der Neubestimmung des Sättigungspunktes und der Justierung.

Die bisher unternommenen Versuche zur Verbesserung des Verfahrens der Prüfung auf Abbindezeit können nicht als gelungen angesehen werden. Ein von Tetmajer konstruierter mechanischer Nadelapparat hat den Nachteil der stossweisen Wirkung und der Erschütterung des Kuchens bei jedem Nadelfalle.

Der von Goodman in England konstruierte Apparat, bei welchem ein Rädchen in den Cementbrei eintaucht und durch eine mit dem Cementbrei gefüllte Wanne mit kontrolierbarer Geschwindigkeit fortbewegt wird, wobei ein in der Achse des Rädchens sitzender Stift die Abbindekurve verzeichnet, liefert bei parallelen Versuchen stark abweichende Werte, die mit Versuchen mit der Vicatschen Nadel nicht in Einklang zu bringen sind.

Die von Mc. Harg in Chicago vorgeschlagene einfache Probe mit einem Bindfaden, der durch einen auf einer Schiefertafel ausgebreiteten Cementkuchen in bestimmten Zeitabschnitten durchgezogen wird, ist wohl als leichte Probe auf der Baustelle brauchbar, aber als genaue Laboratoriumsprobe nicht anzusehen.

Der Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten beabsichtigt deshalb gemeinsam mit den Versuchsanstalten in Charlottenburg und Stuttgart ein neues Verfahren zur Bestimmung der Abbindezeit aufzusuchen, wobei voraussichtlich auch darauf Rücksicht genommen werden wird, dass dem Cementkuchen während des Abbindens kein Wasser durch Ausfliessen entgeht, was bei der Probe mit der Vicatschen Nadel unter Anwendung des jetzt gebräuchlichen Blech- oder Kautschukringes ohne Boden durch Abscheidung von Wasser auf der Glasplatte stets der Fall ist.

Die in den Normen ausgesprochene Ansicht, dass Portland-Cement durch längeres Lagern langsamer bindend wird, hat sich in dieser allgemeinen Form als nicht zutreffend herausgestellt.

Wiederholt ist, zuerst durch Dr. Tomëi festgestellt worden, dass viele Cemente, die im frischen Zustande langsam bindend sind, mit der Zeit schnellbindend werden können und dann sich wieder verlangsamen. Es ist das einer jener Vorgänge, die auf der inneren Konstitution des Portland-Cements beruhen und leider in ihrem Ursprung noch nicht aufgeklärt werden konnten, deren Studium aber von besonderer Wichtigkeit ist.

4. Festigkeit.

Für die Prüfung eines Portland-Cements zum Vergleich mit andern auf Festigkeit in der Mischung mit Sand ist durch die Normen die Verwendung eines Sandes von bestimmter Korngrösse und bestimmter Herkunft, des sogenannten Normalsandes, vorgeschrieben. Die Normal-

sandproben in Mischungen aus 1 Gewichsteil Portland-Cement und 3 Gewichtsteilen Normalsand sind die massgebenden. Daraus erhellt, wie wichtig es ist, um zu dauernd gleichbleibenden und vergleichbaren Ergebnissen zu gelangen, dass der Normalsand stets gleiche Eigenschaften bewahrt. Durch viele Versuche ist festgestellt worden, dass verschiedene Sande, auch wenn sie nur in geringem Masse in ihren Eigenschaften von einander abweichen, sehr verschieden feste Mörtel liefern.

Gegen Zug- und Druckfestigkeit verhalten sich einzelne Sande vollständig verschieden.*)

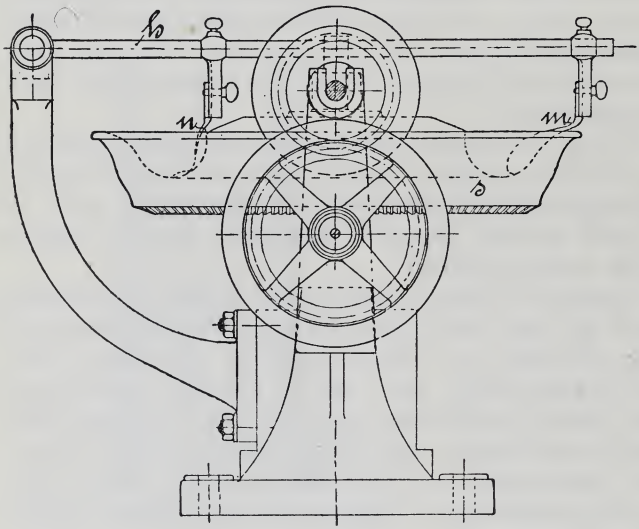


Fig. 7.

Sehr eingehende und mühevolle Arbeiten, über die in den Protokollen der Verhandlungen des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten in den letzten Jahren ausführlich berichtet ist, haben zu einem Fabrikationsverfahren des Sandes in Freienwalde geführt, welches allen berechtigten Ansprüchen genügt. Die Eigenschaften des nach diesem Verfahren hergestellten und in den Handel kommenden preussischen Normalsandes, der auch in den übrigen deutschen Bundesstaaten benutzt wird, sind im Jahre 1901 durch folgende Beschlüsse festgelegt:

„Bis zur Schaffung eines anderen wird der Normalsand aus tertiärem Quarzsand eines bestimmten Flötzes der Freienwalder Grube Hammerthal durch Waschen und Sieben gewonnen.

Der Normalsand soll mindestens 90 pCt. SiO_2 und nicht mehr als 0,1 pCt. abschlämmbare Teile enthalten.

Seine Körner sollen durch kreisrunde Löcher von 1,35 mm fallen und auf kreisrunden Löchern von 0,775 mm liegen

*) Gary: „Normalsand". Mitteilungen aus den Königl. techn. Versuchsanstalten 1898, S. 121.

bleiben. Die Bleche der Kontrolsiebe sollen 0,25 mm dick sein. Bei der Kontrole mit diesen Sieben dürfen nicht mehr

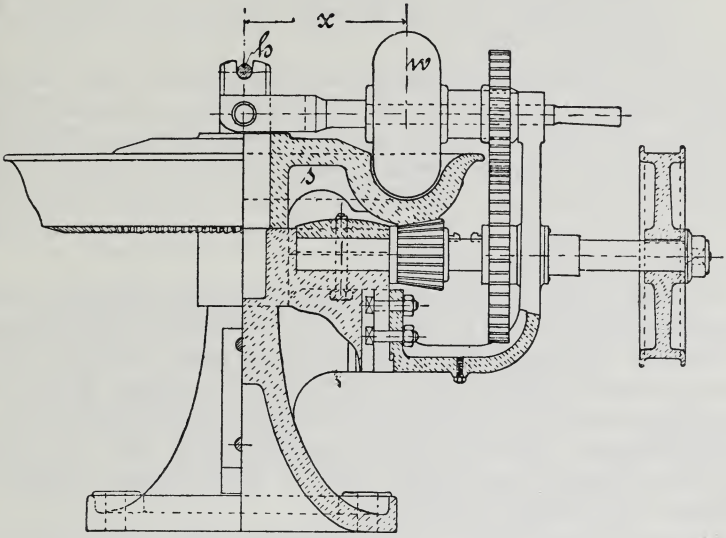


Fig. 8.

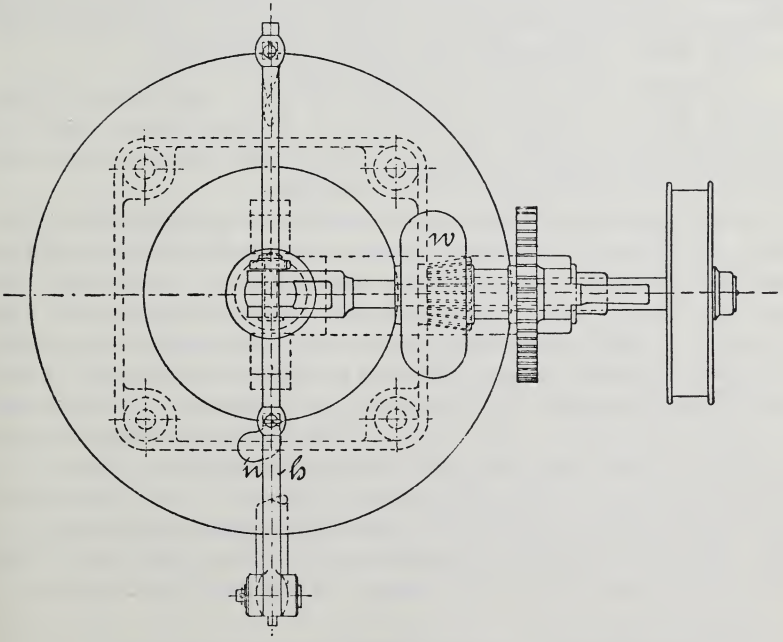


Fig. 9.

als 2 pCt. zu grobe und 20 pCt. zu feine Körner zugelassen werden. Die Kontrole geschieht durch die Königliche Versuchsanstalt zu Charlottenburg.*) Der Sand wird in Säcken abgegeben, die mit einer Plombe der Versuchsanstalt geschlossen sind."

Durch sorgfältige Mischungen des Rohsandes vor und nach dem Waschen, sauberes Auswaschen aller thonigen Bestandteile und Braunkohlenreste, Absieben des Sandes auf den vorgeschriebenen Sieben und Lagerung grosser Mengen fertigen Sandes in Silos ist bisher ein sehr gleichmässiger Normalsand erzielt worden, der vor dem Verschluss der Säcke mit der Plombe der Versuchsanstalt von dieser noch auf Korngrösse und Reinheit kontroliert wird.

Mit Hilfe dieses Sandes wird nun ein erdfeuchter Mörtel mit einem bestimmten Wasserzusatz hergestellt, der der jeweiligen Beschaffenheit des Cementes angepasst sein muss, und wie weiter vorn (S. 49) beschrieben wurde, ermittelt wird. Hat man den richtigen Wasserzusatz gefunden, so werden die abgewogenen Mengen des Cementpulvers und des Normalsandes zunächst trocken gemischt, dann mit der erforderlichen Wassermenge angefeuchtet und im Mörtelmischer, während 25 Umgängen der Schüssel bearbeitet.

Dieser Apparat (Fig. 7 – 9) besteht aus einer Mischschale *s*, in welcher der Mörtel unter dem Gewichte der in gleicher Richtung wie die Schale aber mit anderer Geschwindigkeit laufenden Walze *w* niedergedrückt und ausgestrichen wird, um darauf an den beiden Abstreichern *m* und *n* wieder aufgelockert und gewendet zu werden.

Die Abstreicher können mit dem Hebel *h* zusammen zurückgeschlagen werden und auch die Achse der Walze *m* kann ausgehoben und zurückgelegt werden; alsdann lässt sich der Apparat bequem entleeren und von anhaftendem Mörtel reinigen.

Der Antrieb der Schale *s* und der Walze *w* erfolgt durch Zahnräder, die ihrerseits von Hand mittelst einer Kurbel oder mit Riemen und Riemenscheibe mechanisch bewegt werden. Im letzteren Falle wird der Riemen an die Riemenscheibe durch eine Spannrolle angedrückt, die mittelst eines Hebels leicht ausgerückt werden kann, sodass der Apparat nach der vorgeschriebenen Umdrehungszahl augenblicklich zum Stillstand kommt. Die Schale soll im Vollgange 8 Umdrehungen in der Minute machen. Sie vermag 2000 g trockene Masse bequem zu fassen, sodass man für die Normalmörtelmischung zweckmässig 500 g Cement und 1500 g Normalsand abwiegt, in einer Schüssel mit dem Löffel trocken mischt und in dem Mischapparat gleichmässig verteilt. Während der ersten Umdrehung der Schale wird das erforderliche Wasser aus einem mit Ausguss versehenen Topfn lagsam und

*) Kontrolsiebe sind von der Versuchsanstalt zu beziehen.

gleichmässig zugegossen. Nach 20 Umdrehungen, also nach 2½ Minuten wird der Arm *h* mit den beiden Abstreichern *m* und *n* und der Hebel, welcher die Walze *w* trägt, aufgeklappt und die Mischschale mit einer eigens hierfür konstruierten Schaufel geleert. Zu beachten ist, dass beim Mischen der unter der Walze vorkommende Mörtel zuerst den Abstreicher *m* und dann erst den Abstreicher *n* passiert. Da auch für das Einschlagen der Probekörper mit Böhmes Hammerapparat 2½ Minuten erforderlich sind, so arbeiten Mischer und Hammerapparate, falls deren eine genügende Anzahl vorhanden sind, und gleichzeitig Druck- und Zugproben eingeschlagen werden, ohne Zeitverlust bequem in einander.

Nach Vorschrift der Normen ist in allen Streitfällen die maschinenmässige Anfertigung die massgebende; erwähnt muss jedoch werden, dass sehr schnell bindende Cemente auch in der Mischung 1:3 nicht maschinenmässig eingeschlagen werden können, und dass man in diesem Falle auf die Handarbeit zurückgreifen muss.

Zum Einschlagen der Normal-Mörtelproben zur Bestimmung der Zugfestigkeit, wie auch zur Anfertigung der Proben aus reinem Cement – falls dieser schnell bindend ist – mit der Hand bedient man sich der zweiteiligen Zugform Fig. 10, die durch eine Feder zusammengehalten wird. Diese Form wird mit der Mörtelmasse gewölbt voll gefüllt. Die Masse wird dann mit einem flachen Eisenspatel so lange geschlagen, bis sich Wasser abscheidet, mit einem breiten Messer vorsichtig abgestrichen und geglättet. Der Körper wird dann samt der Form auf eine dicke Glasplatte gelegt und in einen flachen Zinkkasten gesetzt, dessen Boden mit Wasser bedeckt gehalten wird. Nach einigen Minuten kann die Form entfernt werden.

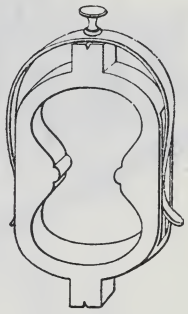


Fig. 10.

Zur Anfertigung der Druckproben bedient man sich derselben zweiteiligen Würfelform mit 7,1 cm Seitenlänge (50 qm Fläche) wie sie auch für die maschinenmässige Herstellung der Probekörper benutzt wird. Zur maschinenmässigen Anfertigung der Körper sind verschiedene Raumapparate in Vorschlag gebracht worden. In Deutschland ist allgemein der Böhmesche Hammerapparat im Gebrauch, von dem in Fig. 11 sechs Apparate, mit einander zu maschinellem Antrieb verkuppelt, dargestellt sind.

Der Hammerapparat besteht aus einem Schwanzhammer von 2 kg Gewicht, welcher auf jede Probe, gleichgültig ob Zug- oder Druckprobe, aus abgemessener genau festgelegter Fallhöhe je 150 Schläge ausübt. Nach 150 Schlägen rückt sich der Apparat selbstthätig aus. Die Festhaltung der Form ist nach Martens Angabe derart angeordnet, dass sowohl Zug- als Druckformen, wie aus der Abbildung ersichtlich ist, in den Apparat leicht eingespannt und wieder entfernt werden können.

Die weitere Behandlung der Proben erfolgt den Vorschriften der Normen entsprechend, indem die Proben nach der Herstellung in einen mit feuchter Luft gefüllten Kasten gesetzt, und die Zugprobe wie erwähnt, nach einigen Minuten, die Druckprobe aber erst nach 24 Stunden von der Form befreit wird. Dann kommen die Proben unter Wasser; sie werden meist nach 7 oder 28 Tagen unmittelbar nach der Entnahme aus dem Wasser geprüft.

Das Entformen der Zugprobekörper erfordert eine gewisse Geschicklichkeit. Um es zu erleichtern hat Michaelis einen einfachen Apparat zur Festhaltung des Körpers und Cramer einen Ausdrückapparat konstruiert.

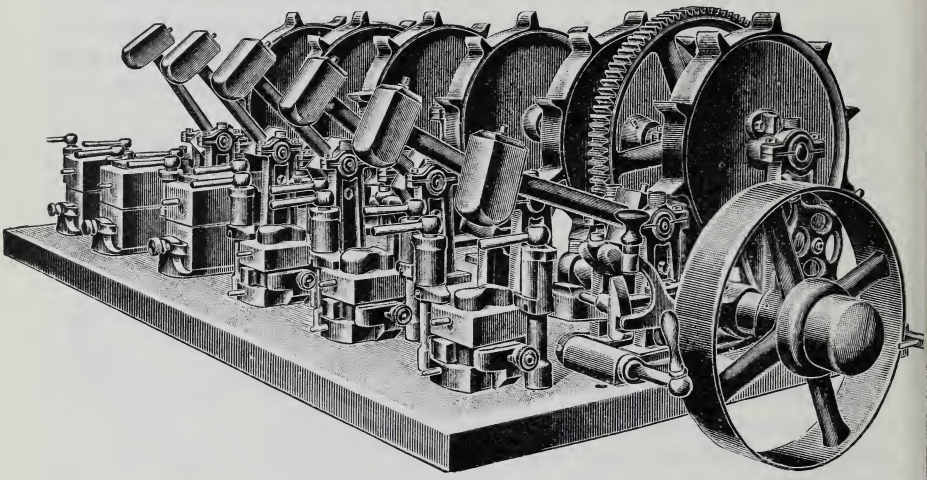


Fig. 11.

Vor der Prüfung der Körper empfiehlt sich die Feststellung des Raumgewichts bezw. des Dichtigkeitsgrades der Mörtelproben, um sich zu überzeugen, in wie weit die Körper verdichtet sind und mit einander übereinstimmen. Für diesen Zweck eignet sich das Volumenometer von Seger.

Dieser Apparat (Fig. 12) besteht aus einer weithalsigen Flasche, welche durch einen seitlichen Ansatz mit einer Bürette *a* und einem Ablasshahn *e* verbunden ist. Die Bürette fasst 150 ccm und ist in Zehntel ccm eingeteilt. Oben ist sie zu einer Kugel *f* erweitert, an deren oberen Rohransatz ein Gummischlauch befestigt wird. Der Hahn *d* schliesst die Bürette gegen die Flasche ab. In den gut eingeschliffenen Glasstopfen *c* der Flasche ist ein dünnes Rohr *b* eingesetzt, welches sich nach oben zu einer Kugel erweitert. Die Marke *m* an dem Rohr *b* steht genau in gleicher Höhe mit dem Nullpunkt der Bürette *a*.

Zum Gebrauch wird die Flasche mit Wasser gefüllt, der gut eingefettete Stöpsel *c* fest eingedrückt und durch einen Bleiring *g* beschwert.

Durch das Rohr *b* füllt man bei geöffnetem Hahn *d* soviel Flüssigkeit nach, dass der Spiegel derselben über der Marke *m* und dem Nullpunkt der Bürette steht. Hierauf lässt man durch den Hahn *e* vorsichtig so viel Flüssigkeit ab, dass sich der Spiegel genau mit der Marke *m* und dem Nullpunkt deckt. Zeigt der Stand der Flüssigkeit, dass diese Marken nicht genau in einer Ebene liegen, so muss man den Standpunkt der Flasche so ändern, dass beide Marken in dieselbe Ebene kommen, oder man muss am Rohr *b* eine andere Marke anbringen (z. B. durch Ankleben eines scharfkantigen Stückes Papier), die genau mit dem Nullpunkt übereinstimmt.

Soll nun eine Messung vorgenommen werden, so legt man zunächst den zu messenden Körper (Zug- oder Druckprobe) in Wasser, bis er sich soweit mit Wasser gesättigt hat, dass ein weiteres Eindringen von Flüssigkeit während der Messung nicht mehr zu befürchten ist. Hierzu genügen im allgemeinen 1 bis 2 Stunden. Währenddessen überzeuge man sich, dass sich im Innern der Flasche keine Luftblasen festgesetzt haben. Diese sind am besten durch vorsichtiges Hin- und Herneigen der Flasche durch das Rohr *b* zu entfernen. Dann saugt man mittelst des erwähnten, am oberen Ende der Bürette befestigten Gummischlauches die Flüssigkeit so weit hoch, dass sie die Kugel füllt und lässt sie wieder zurücklaufen. Nach 10 Minuten sieht man nach, ob der Flüssigkeitsspiegel genau mit dem Nullpunkt und der Marke *m* zusammenfällt. Ist dies nicht der Fall, so ist durch das Rohr *b* so viel Wasser nachzugeben, bis beide Marken genau erreicht sind.

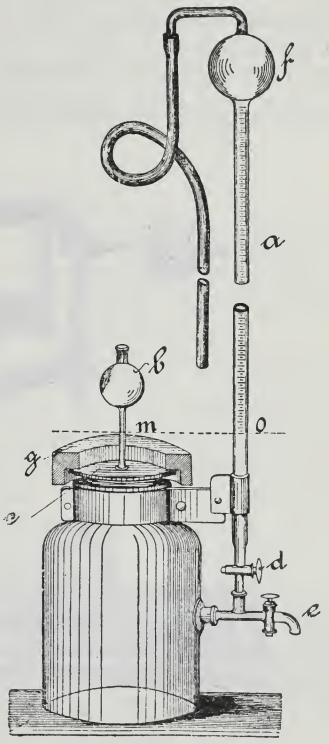


Fig. 12.

Ist der zu messende Körper genügend gesättigt, so saugt man wieder mittelst des Schlauches die Flüssigkeit hoch, um in der Flasche leeren Raum zu gewinnen und schliesst den Hahn *d*. Dann wird der Körper äusserlich abgetrocknet und nach Entfernung des Bleiringes und des Stöpsels vorsichtig in die Flasche eingebracht. Alsdann drückt man den Stöpsel wieder ebenso fest wie vorher in den Hals der Flasche ein und beschwert ihn mit dem Bleiring. Nun öffnet man vorsichtig den Hahn *d* und lässt so viel Flüssigkeit aus Kugel und Bürette in die Flasche zurückfliessen, bis der Spiegel genau auf der Marke *m* einsteht.

Es empfiehlt sich, noch ein paar Mal die Flüssigkeit bis in den oberen Teil der Bürette hinaufzusaugen und wieder zurückfliessen zu lassen, um Luftblasen, die sich etwa an der Innenseite des Deckels festgesetzt haben könnten, zu beseitigen. Nach genauer Einstellung auf die Marke *m* wartet man 10 Minuten und liest dann an der Bürette die Anzahl der ccm ab, die durch den zu messenden Körper aus der Flasche in die Bürette gedrängt sind, also genau den Rauminhalt des Körpers angeben.

War der Rauminhalt dieses Körpers grösser als der Teilung der Bürette entspricht, so lässt man vor dem Einbringen des Körpers in das Volumenometer durch den Hahn *e* je nach der Grösse des Körpers 100 bis 500 ccm Flüssigkeit ab. Der Rauminhalt des Körpers entspricht dann der abgelassenen Menge zuzüglich des Bürretteninhaltes.

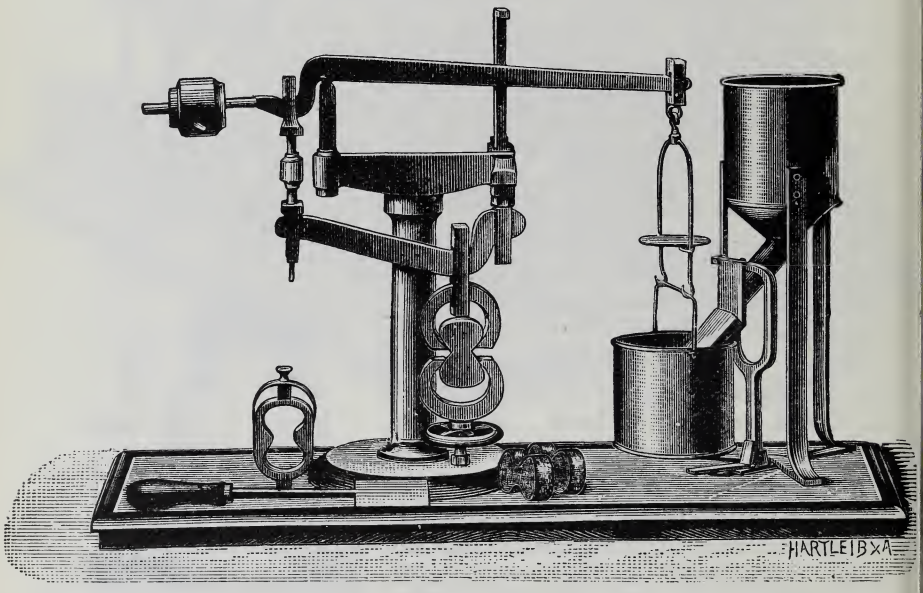


Fig. 13.

Um den Apparat für die nächste Bestimmung vorzubereiten, ist nur notwendig, durch Oeffnen der Hähne *d* und *e* so viel Flüssigkeit abfliessen zu lassen, dass der Wasserspiegel wieder auf 0 einsteht.

Will man ausser dem Rauminhalt *v* des Körpers auch sein Raumgewicht, d. h. das Gewicht von 1 ccm des Körpers in g ausgedrückt, bestimmen, so muss man vor dem Einlegen in die Flüssigkeit das Gewicht *g* des Körpers durch Trocknen bis zur Gewichtsgleichheit und Wägen in völlig trockenem Zustande feststellen. Das Raumgewicht r ist dann $= \frac{g}{v}$.

Will man auch das wirkliche spezifische Gewicht, d. i. das Gewicht von 1 ccm der porenfreien Körpermasse in g ausgedrückt, ferner den Porenraum des Körpers bestimmen, so muss man für völlige Sättigung des Körpers mit Wasser Sorge tragen, was am besten durch anhaltendes Kochen, bis keine Gewichtszunahme mehr erfolgt, oder unter dem Recipienten der Luftpumpe geschieht. Der mit Wasser gesättigte Körper wird dann wie vorher äusserlich abgetrocknet, hierauf gewogen und das Gewicht mit dem des trocknen Körpers verglichen. Bezeichnen wir das Gewicht des mit Wasser gesättigten Körgers mit n, so ist die Gewichtszunahme $z = n - g$ und das wirkliche spezifische Gewicht $s = \frac{g}{v - z}$. Der Porenraum beträgt $\frac{100\ z}{v}$ % vom Rauminhalt des Körpers, die Wasseraufnahmefähigkeit, in % vom Gewicht des Körpers ausgedrückt, $\frac{100\ z}{g}$ %.

Für die Prüfung der Normalprobekörper auf Zugfestigkeit ist am meisten in Gebrauch ein Hebelapparat mit 50facher Uebersetzung, der von Frühling-Michaelis konstruiert ist (Fig. 13). Das Uebersetzungsverhältnis des oberen Hebels ist 1 : 10 und dasjenige des unteren 1 : 5. Beim Gebrauch beachte man folgende Regeln:

Nachdem der Apparat in der aus der Abbildung ersichtlichen Weise zusammengestellt ist, wird das Hebelsystem bei angehängtem Schalenbügel, aber unter Weglassung des Eimers, durch entsprechendes Verschieben und Festschrauben des Laufgewichtes am Ende des längeren Hebels derart in das Gleichgewicht gebracht, dass die obere Seite des Hebels mit einer am Gestell angebrachten Marke zusammenfällt. Darnach wird der Eimer an den Bügel gehängt und die Cementprobe so zwischen die beiden Klauen eingeschoben, dass die geraden Enden der Klauen in parallelen, wagerechten Ebenen liegen. Die inneren Greifflächen der Klauen sind so abgerundet, dass sie nur an einem Punkte in der Mitte der Seitenflächen den Zugkörper anfassen. Hierauf wird, wie die Abbildung zeigt, ein Schrotzulaufapparat an den Eimer gestellt. Jetzt spannt man durch entsprechende Drehung des Handrädchens an der unteren Klaue das Hebelsystem so weit, dass der Eimer möglichst hoch hinter der Ausflussmündung des Schrotzuführers ansteigt.

Nun hebt man den Schieber des Schrotzulaufs so weit an, dass der Schieber in einer bestimmten Lage feststeht und den Abfluss eines regelmässigen Stromes Schrot zulässt. In dem Augenblick des Bruches der Cementprobe durch die Zunahme der Eimerlast stürzt der Eimer nach unten auf einen Ausrückhebel, wodurch sich die Ausflussöffnung von selbst schliesst.

Der Ausfluss des Schrotes ist so geregelt, dass in der Sekunde 100 g Schrot in den Eimer laufen. Von Zeit zu Zeit ist die Ausflussmenge mit der Uhr zu kontrolieren und durch Höher- oder

Tieferstellen mittels einer Schraube zu regeln. Das Gewicht des Eimers samt Füllung ermittelt man auf der Tafelwage. Da die Last mit 50facher Kraft wirkt, und der Querschnitt der Probe 5 qcm beträgt, so ist das in kg gefundene Gewicht mit 10 zu multiplizieren, um die Bruchlast in kg für 1 qcm zu finden. Beträgt das Gewicht beispielsweise 1735 g, so ist die Zugfestigkeit 1735 . 10 g = 17,350 kg.

Nach Untersuchungen der Königlichen mechanisch-technischen Versuchsanstalt genügt der Hebelapparat, was Genauigkeit anbelangt, den an ihn zu stellenden Anforderungen, da der Fehler im Mittel nur 0,14 pCt. beträgt, während der mittlere Fehler beim Zerreissen der Probekörper sich auf etwa 6 pCt. stellt. Voraussetzung ist allerdings, dass an dem Apparat die Pfannen und Schneiden stets frei von Staub und Schmutz gehalten werden.

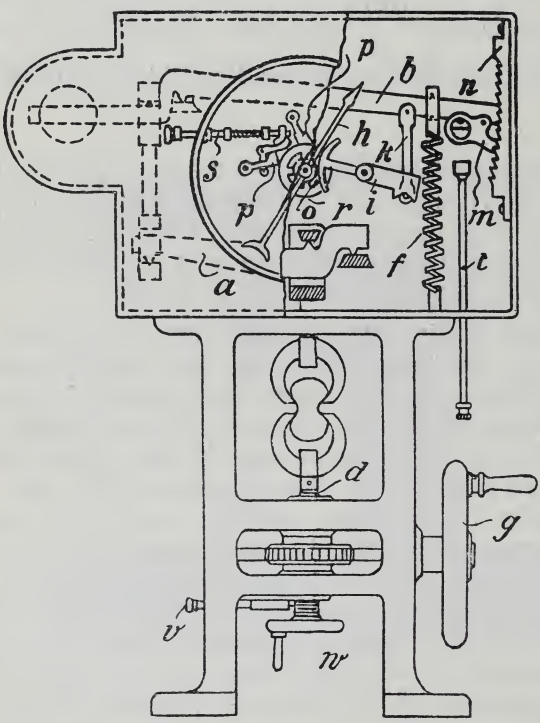


Fig. 14.

Um die Uebelstände, welche der Schrotzulauf mit sich bringt (schnelle Abnutzung des Schrotes, umständliches Wägen usw.) zu vermeiden, hat L. Schopper auf Anregung von Martens einen Apparat konstruiert, bei dem die Kraftmessung durch eine Spiralfeder erfolgt, so dass der Schrotzulaufapparat vollständig in Wegfall kommt.

Dieser Apparat besteht, wie Fig. 14 zeigt, aus den auf Schneiden gelagerten Hebeln *a b*, an denen einerseits die Spiralfeder *f*, andererseits die Klauen *d* mit dem zwischengehängten Zugprobekörper angreifen. Durch Drehen des kleinen Handrades *g* wird die Antriebsspindel langsam abwärts bewegt und hierdurch auf den Probekörper ein Zug ausgeübt. Dieser Zug bezw. ein bestimmter, durch die Uebersetzung bedingter Teil der auf den Probekörper ausgeübten Zugkraft wird auf die Spiralfeder übertragen, deren Verlängerung das Mass für die jeweilige Beanspruchung abgiebt. Diese Verlängerung wird mittels

des Gliedes *k* und des Segmenthebels *i* auf den Zeiger *h* übertragen, der im Augenblick des Bruches des Körpers durch die Excenterhebel *p* in seiner Lage festgehalten wird. Gleichzeitig schnappt in diesem Augenblick die Klinke *m* in die Zahnleiste *n* und verhindert so das Zurückschlagen des Hebels. Auf der Skala ist die Zugfestigkeit, bezogen auf 1 qcm des Querschnittes, direkt ablesbar. Nach erfolgter Ablesung wird durch Heben des Stiftes *t* die Klinke *m* ausgelöst, so dass die Hebel wieder frei spielen können, und der Zeiger durch einen Druck auf den Stift *s* wieder in die Nulllage gebracht. Um nach beendetem Versuch die untere Klaue schnell wieder auf die Einspannhöhe zu bringen, wird der Führungsstift *v* etwas herausgezogen und die Antriebsspindel mittelst des Handrades *w* hochgedreht.

Der obere Teil ist staubdicht in ein Gehäuse eingeschlossen (Fig. 15). Der Antrieb kann selbstverständlich auch mechanisch durch einen kleinen Wassermotor oder ähnlich erfolgen. Die Kontrole des Apparates bezw. der Feder erfolgt in einfacher Weise durch direktes Anhängen von Gewichten an die untere Klaue, zu welchem Zweck die Antriebsspindel durchbohrt ist.

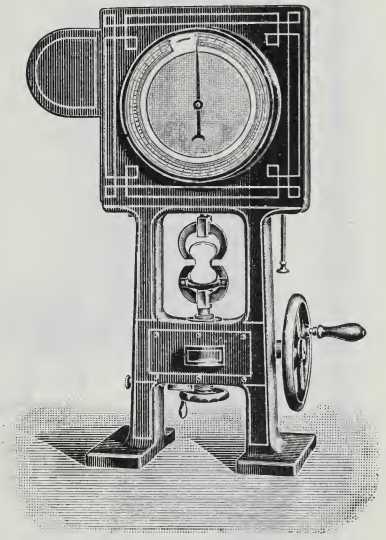


Fig. 15.

Ganz neu ist ein Zugfestigkeitsprüfer für Cement- und Mörtelproben, nach Martens Angabe in der Maschinenbaugesellschaft Nürnberg gebaut. Antrieb und Kraftmessung dieses Apparates erfolgen durch eine Messdose in Verbindung mit dem Schreibmanometer, Bauart Martens. Der Papierstreifen, auf dem die Festigkeitskurve verzeichnet wird, geht durch elektrische Auslösung bei jeder Umkehr der Zeigerbewegung ruckweise vor und bezeichnet scharf die Bruchlast.

Die Prüfung auf Druckfestigkeit der Würfel mit 50 qcm Fläche kann auf jeder beliebigen hydraulischen Presse, die genügend genau arbeitet und deren Reibungsverhältnisse bekannt sind, erfolgen. Man bedient sich aber zumeist einer hydraulischen Presse, die von Amsler-Laffon konstruiert ist (Fig. 16).

Bei dieser Presse wird wie gewöhnlich der würfelförmig gestaltete Probekörper zwischen zwei Pressplatten gelegt, von denen die untere beweglich ist; sie liegt mit einer Kugelfläche auf dem Druckkolben, welcher in dem grossen, in der Mitte der Maschine sichtbaren Cylinder spielt. Die obere Pressplatte kann ihre Richtung nicht verändern,

sie stemmt sich gegen das ebene untere Ende der Schraubenspindel. Diese dient dazu, die obere Pressplatte vor dem Versuch auf den Probekörper herabzusenken. Während des Versuches bleibt die obere Pressplatte stehen, die untere Pressplatte wird durch den Druckkolben in die Höhe gedrückt. Der Druck auf den Kolben wird erzeugt durch Oel, welches von einer einfachen Kolbenpumpe (rechts in Fig. 16) in den grossen Cylinder gepresst wird. Die Pumpe wird dann von Hand mittelst einer Kurbel angetrieben. Der auf den Probekörper ausgeübte Druck wird an einem ungefähr 150 cm hohen Quecksilbermanometer abgelesen, welches links an der Maschine angebracht ist. Der unter dem Druckkolben herrschende Flüssigkeitsdruck, welcher das Mass des auf den Probekörper ausgeübten Druckes abgiebt, wird durch ein System von reibungslos in Ricinusöl spielenden Kolben reduziert und auf das Quecksilber im Manometer übertragen. Einem Druck von 30 000 kg entspricht eine Steighöhe der Quecksilbersäule von ungefähr 150 cm. Neben der Quecksilbersäule liest man an einer Teilung den Druck in Tonnen (1 t = 1000 kg) oder in Kilogramm auf den Quadratcentimeter der Auflagefläche eines Normalwürfels ab.

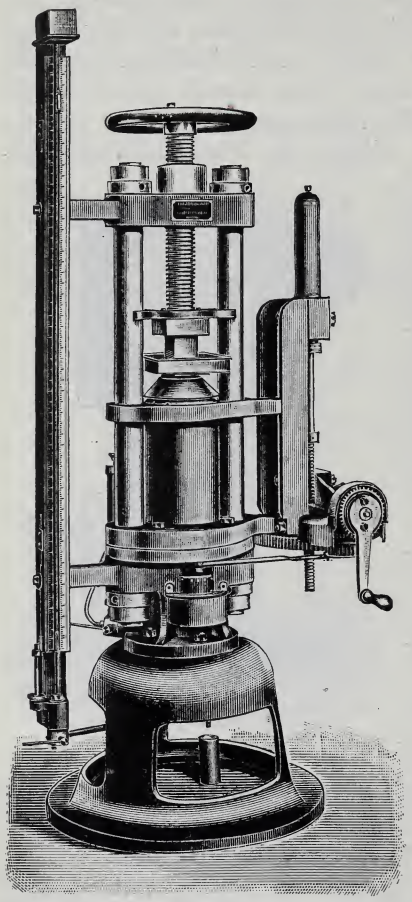


Fig. 16.

Die Pressplatten sind quadratisch und aus hartem Stahl. Die untere Pressfläche ist mit einem feinen Netz versehen, welches zur Centrierung des Probekörpers dient, und ist von einem Blechgefäss zur Aufnahme der Trümmer des Probekörpers eingeschlossen.

Die Kolben sind so genau eingepasst, dass sie nur wenig Oel entweichen lassen. Das entweichende Oel schmiert die Kolben, es ist auf die Angaben des Manometers ohne Einfluss. Die grösste Einspannhöhe beträgt 30 cm. Die Höhe der Maschine ist 210 cm und ihr Nettogewicht etwa 650 kg. Für die Maschine ist kein besonderes

Fundament nötig, der Boden braucht nur so fest zu sein, dass er die Last der Maschine sicher trägt.

Wie schon erwähnt, beruht der Vorzug der Maschine hauptsächlich in dem reibungslosen Spiel der Kolben und in der Einfachheit und Sicherheit der Druckmessung durch ein Quecksilbermanometer. Um letztere möglichst übersichtlich zu gestalten, ist eine Reduktion des Druckes vom Presskolben auf das Manometer erforderlich, die innerhalb der Maschine vor sich geht. Die Einrichtung der Reduktions-Kölbchen ist von aussen nicht sichtbar. Sie ist aber ähnlich wie die Einrichtung des Druckreduktors (Fig. 17), welcher dazu dient, die Maschine zur Messung kleiner Kraftentfaltung geeignet zu machen.

Das Rohr *A* leitet die Pressflüssigkeit aus dem Hochdruckcylinder der Prüfungsmaschine in den Hohlraum Im Raum *B* herrscht daher derselbe Flüssigkeitsdruck wie im Hochdruckcylinder. Nach unten drückt die Flüssigkeit auf die beiden dünnen Kolben *C* und *D*. Der durchbohrte Kolben *D* sitzt in der Stellung, welche in Fig. 17 gezeichnet ist, mit dem Rand an seinem oberen Ende auf dem Boden des Raumes *B* auf und kann sich daher nicht abwärts bewegen. Das Kölbchen *C* kann in der Durchbohrung des Kolbens *D* spielen. Es steht mit seinem unteren Ende auf dem zentralen Zapfen des hohlen Kolbens *E*, welcher durch die im Raum *F* des Cylinders *G* befindliche Flüssigkeit getragen wird. Die Füllung des Raumes *F* besteht aus Quecksilber und Oel. Das Quecksilber füllt den unteren Teil des Raumes aus und steht durch das Rohr *H* mit dem oben offen Rohr *J* in Verbindung. Das Oel schwimmt im Raum *F* auf dem Quecksilber und trägt den Kolben *E*. Das Gewicht des Kolbens *E* und der vom Kölbchen *C* auf den Kolben *E* übertragene Druck treibt soviel Quecksilber aus dem Raum *F* in das Rohr *J* des Manometers, bis die im Rohr *J* aufsteigende Quecksilbersäule dem Druck des Kolbens *E* das Gleichgewicht hält. Die Steighöhe des Quecksilbers im Manometer ist daher das Mass des auf das Kölbchen *C* ausgeübten Flüssigkeitsdruckes. Da nun der Flüssigkeitsdruck im Raum *B* und im Hochdruckcylinder der Prüfungsmaschine derselbe ist, so ist die Steighöhe des Quecksilbers auch das Mass der vom Hochdruckkolben der Prüfungsmaschine ausgeübten Kraft.

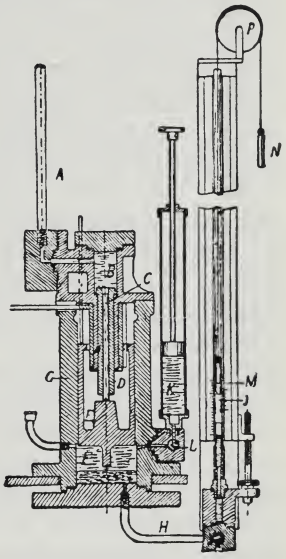


Fig. 17.

Das Verhältnis der Steighöhe des Quecksilbers zu jener Kraft ist offenbar nur abhängig vom Verhältnis der Querschnitte der wirksamen

Kolben, der Querschnitte des Raumes *F* und Rohres *J*, und vom spezifischen Gewicht des Quecksilbers (13,6). Vergrössert man die Oelfüllung des Raumes *F*, was mittelst des Pümpchens *K* geschieht, so steigt der Kolben *E* in die Höhe, erfasst dabei das durchbohrte Kölbchen *D* und hebt es mit in die Höhe. Schliesst man den Hahn *L* bei dieser Stellung des Kolbens *E*, so wirken nun beide Kölbchen *C* und *D* gleichzeitig auf den Kolben *E*. Die Folge wird sein, dass das Verhältnis der Steighöhe des Quecksilbers im Manometer zum Flüssigkeitsdruck im Raum *B* ein anderes ist als vorher, wo das Kölbchen *D* ausser Thätigkeit war. Die gleichzeitige Wirksamkeit von *C* und *D* bewirkt, dass das Quecksilber mehr steigt, als wenn blos *C* wirkt. Diese Einstellung des Druckreduktors eignet sich zur Messung kleiner Kraftentfaltung der Prüfungsmaschine. Die von der Prüfungsmaschine ausgeübte Kraft wird dann wieder an Teilungen abgelesen, welche zu beiden Seiten des Rohres *J* angebracht sind. Eine der Teilungen entspricht derjenigen Einstellung des Druckreduktors, bei welcher blos das Kölbchen *C* in Wirksamkeit ist – also der Einstellung für grössere Kräfte - die andere Teilung entspricht dem Fall, wo beide Kölbchen *C* und *D* in Wirksamkeit sind – also der Einstellung des Druckreduktors für kleine Kräfte. Ein Schwimmer *M*, welcher durch ein Gegengewicht *N* ausbalanciert ist, wird durch die steigende Quecksilbersäule aufwärts geschoben. Sinkt das Quecksilber wieder, so bleibt der Schwimmer stehen und zeigt die grösste ausgeübte Kraft an. Ist die Prüfungsmaschine mit einem Diagrammapparat ausgerüstet, so wird die Drehung der Rolle *P* zur Aufzeichnung der Kraft benutzt.

Die gewöhnlich für die Cementprüfung benutzten Maschinen gestatten 30 t Kraftleistung. Nach demselben System werden aber auch stärkere Maschinen gebaut, die dann zweckmässig in Verbindung mit dem Druckreduktor zur Verwendung kommen. Der Fehler dieser Maschine beträgt wenig mehr als $\pm$ 1%.

Eine Druck-Presse für 40 t Kraftleistung ist von Martens konstruiert und wird von der Maschinenbaugesellschaft Nürnberg gebaut.

Es ist eine hydraulische Presse mit Manschettendichtung, bei der die Kraftmessung durch eine Messdose mittelst Präcisionsmanometer (Bauart Martens) erfolgt. Das Manometer hat Gradteilung; der Gradwert in kg/qcm wird empirisch durch Vergleich mit dem Quecksilber- oder Wagemanometer nach Amagat bestimmt.

Vielfach ist auch eine von Suchier in Frankfurt konstruierte Presse in Gebrauch, die gleichzeitig die Vornahme von Zug- und Scheerversuchen oder Druckversuchen an Mörteln gestattet.

Wie aber die Presse auch konstruiert sein mag, in jedem Falle muss man sich durch sorgfältige Versuche vorher von ihrer Richtigkeit überzeugen.

Die früher verwendete Hebelpresse von Schickert hat sich ihrer vielen Fehlerquellen wegen und wegen der Unbequemlichkeit der Be-

dienung als ungeeignet erwiesen. Namentlich wurde mit dieser Maschine der Würfel häufig einseitig beansprucht und ungleichmässig zerstört. Die Bildung zweier vierseitiger Pyramiden, deren Spitzen im Mittelpunkte des Würfels zusammentreffen, ist das charakteristische Merkmal der gleichmässigen Beanspruchung des Probekörpers.

5. Raumbeständigkeit.

Eine der wichtigsten Eigenschaften, die ein guter Portland-Cement haben muss, ist Raumbeständigkeit.

Zum Bestimmen der Raumbeständigkeit der Cemente benutzt man ähnliche Kuchen, wie sie für die Kuchenprobe zur Bestimmung der Bindezeit mit dem Fingernagel vorher beschrieben sind. Diese Kuchen, welche nach erfolgtem Abbinden vor Zugluft und Sonnenschein geschützt werden müssen, werden in einem bedeckten Kasten oder auch unter nassen Tüchern aufbewahrt. Hierdurch werden die durch Austrocknen hervorgerufenen sogenannten Schwindrisse vermieden, welche in der Regel in der Mitte des Kuchens entstehen und von Unkundigen leicht für Treibrisse gehalten werden.

Treibrisse entstehen nur dann, wenn ein mangelhaft aufbereiteter oder gebrannter Cement während des Abbindens und im Verlauf seiner Erhärtung beträchtliche Raumvergrösserung erleidet, die sich an den Kuchen durch Verkrümmungen oder durch klaffende Kantenrisse bemerkbar macht.

Neben der Luftaufbewahrung der Kuchen besteht die eigentliche Normenprobe in der Wasserlagerung, die ebenfalls in einem Zinkkasten mit Deckel vorgenommen wird. Die Unterscheidung von Schwindrissen und Treibrissen erfordert eine gewisse Uebung. Zeigt ein Kuchen während 28 Tagen keine Verkrümmung und keine Kantenrisse, so wird der Cement als raumbeständig angesehen.

Die Kuchenprobe wird von manchen Seiten für ungenügend erachtet, insbesondere wendet man gegen diese Probe ein, dass sie zu lange Zeit erfordere, um den treibenden Cement zu erkennen, und dass man in den seltensten Fällen mit der Verwendung des Cements so lange warten könne, bis diese Probe ein entscheidendes Ergebnis geliefert hat. Die Stichhaltigkeit dieses Grundes ist nicht zu bestreiten, und das Bestreben nach einer Methode, welche die Raumbeständigkeit eines Cements schneller erkennen lässt, erscheint durchaus gerechtfertigt. Von verschiedenen Seiten sind solche beschleunigten Raumbeständigkeitsproben bereits in Vorschlag gebracht worden: von Dr. Michaelis die Plattenkochprobe, von Dr. Heinzel die Kugelglühprobe, von Tetmajer die Kugelkochprobe, von dem Amerikaner Maclay eine kombinierte Heisswasserprobe, von dem Franzosen Deval eine Dampfprobe, von Dr. Erdmenger die Hochdruckdampfprobe, von Prüssing die Presskuchenprobe. Alle diese Proben haben unleugbar für bestimmte Zwecke auch bestimmte Vorteile, sie leiden aber sämtlich an

dem Uebelstande, dass sie nicht allgemein und in jedem Falle als entscheidend angesehen werden können, weil sie häufig nicht nur thatsächlich raumunbeständigen Cement kennzeichnen, sondern auch dazu führen können, Cement, welcher für Bauzwecke durchaus brauchbar ist, als raumunbeständig zu verdächtigen. Diese Erkenntnis und der immer wieder auftauchende Streit über die Brauchbarkeit einer oder der anderen der genannten beschleunigten Raumbeständigkeitsprüfungen haben die Charlottenburger Versuchsanstalt und den Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten zu umfangreichen Versuchen mit den hauptsächlichsten Proben zur schnellen Feststellung der Raumbeständigkeit veranlasst, die mit 10 Portland-Cementen ausgeführt wurden, von denen bekannt war, dass sie die beschleunigten Proben nicht bestanden, sich aber in der Praxis gut bewährten. Diese Cemente sind sehr eingehend nicht nur auf ihre Raumbeständigkeit in der Praxis, sondern auch auf ihre Festigkeit bis zu 4 Jahren Alter geprüft worden. Es sind auch aus ihnen Ornamentstücke hergestellt und im Freien beobachtet worden.

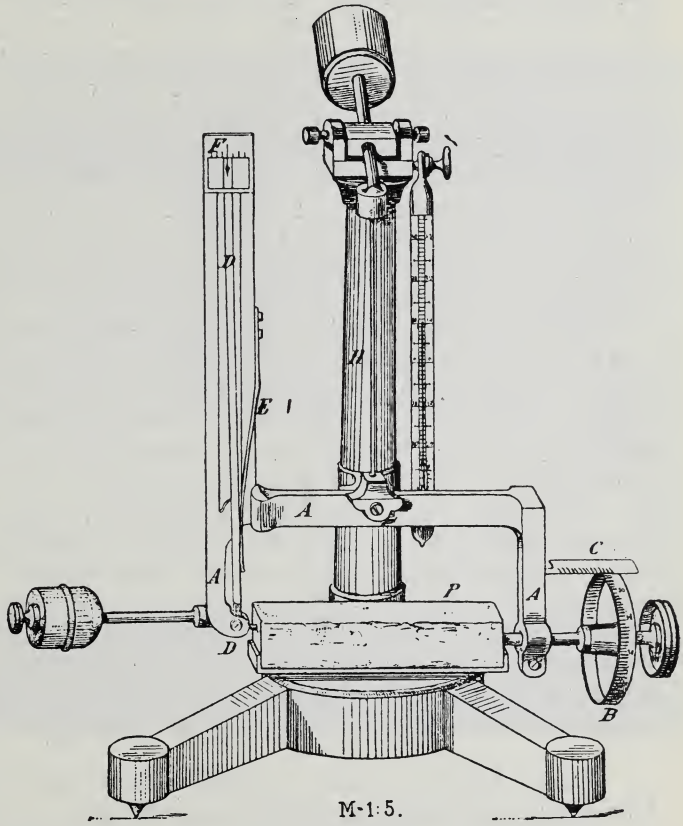
Als das Ergebnis dieser Versuche und Ermittelungen muss festgestellt werden, dass die bisher vorgeschlagenen beschleunigten Raumbeständigkeitsproben nicht geeignet sind, in allen Fällen ein zuverlässiges Urteil über die Raumbeständigkeit eines Cementes in der Praxis zu gestatten, da zahlreiche Cemente, welche die beschleunigten Raumbeständigkeitsprüfungen sämtlich oder teilweise nicht bestehen, in Bauwerken mancherlei Art ihrem Zweck voll genügen, ohne zu den geringsten Beanstandungen in Bezug auf die Raumbeständigkeit zu führen. Die bis jetzt vorgeschlagenen beschleunigten Proben scheinen deshalb nicht geeignet, um an der Hand des Abnehmers als Kontrolprobe für die Raumbeständigkeit des gelieferten Cements zu dienen. Das schliesst indessen die Verwendbarkeit dieser Proben als Laboratoriumsproben und als Fabrikproben nicht aus. Man wird sie oder einige von ihnen mit Vorteil verwenden können, namentlich nach drei Richtungen hin:

1. für die laufende Kontrole der Produkte in der Fabrik,
2. bei der Prüfung solcher Cemente, die für bestimmte Zwecke besonders raumbeständig sein müssen oder zu besonders schwierigen Stücken verarbeitet werden sollen (Behälter für heisse Stoffe, feine Cementwaren, frei liegende, der Luft ausgesetzte grosse Bauwerke usw.),
3. zur Untersuchung magnesiahaltiger Cemente.

In den deutschen Cementfabriken sind deshalb vielfach auch die Kochprobe, die Dampfprobe und die Presskuchenprobe noch im Gebrauch. Bei der letzteren werden 100 g reiner Cement mit 5-7 pCt. Wasser – je nach der Feinheit der Mahlung – angemacht und zwar so, bis das Wasser ganz gleichmässig den Cement befeuchtet hat; dann wird die Masse in eine cylindrische Form gefüllt, gleichmässig in derselben verteilt und mit Hülfe eines Stempels und einer starken Presse

– als welche eine kräftige Kopierpresse gut verwendbar ist – zu runden, scharfkantigen festen Kuchen gepresst. Die Form für diese Presskuchen ist folgendermassen konstruiert: Auf eine gehobelte eiserne Platte von 13 bis 14 mm Stärke wird die aus Messing bestehende, dreiteilige, innen cylindrische Form gesetzt und durch einen kräftigen, federnden, aber mit einer Schraube anziehbaren Ring zusammengehalten. Die Form ist mit einem Absatz zur Auflage für den Ring versehen. Der eiserne Stempel ist genau der cylindrischen Form eingepasst.

Die Cementpresskuchen können sofort nach Herstellung der Presse entnommen werden. Sie bleiben zunächst zur Erhärtung 24 Stunden, gegen Ausdünstung geschützt, in einem Kasten liegen und werden dann unter Wasser gelegt. Ein Cement, der auf diese Weise geprüft, keine Kantenrisse oder Verbiegungen zeigt, soll sich bei jeglicher Verwendung in kaltem Wasser als raumbeständig erweisen. Ein zweiter solcher Kuchen wird nach 24stündiger Erhärtung an der Luft einige Stunden unter kaltes Wasser und dann in ein Bad, welches durch Dampf ständig auf 90 C⁰ erhalten wird, gelegt. Er wird nach 24-stündigem Aufenthalte in letzterem besichtigt und, wenn er gut geblieben, einen Monat lang in demselben gelassen.



M-1:5.
Fig. 18.

Zur genaueren Messung der Raumänderungen, welche Cementkörper erleiden, bedient man sich eines Tasterapparates, der von

Bauschinger konstruiert ist. Dieser Apparat (Fig. 18) eignet sich besonders dafür, Probestäbe aus Mörtelmasse während einer längeren Versuchsdauer hinaus zu messen. Die Probestäbe sind kleine Parallelepipeden von 100 mm Länge und 5 qcm Querschnitt, welche an den Enden kleine, viereckige Vertiefungen enthalten, in die Achatplättchen mit konischen Vertiefungen eingekittet werden.

Hauptbestandteil des Apparates ist der bügelförmige Taster *A*, dessen rechter Schenkel eine Mikrometerschraube *B* enthält, während der linke Schenkel den Sitz eines empfindlichen Fühlhebels *D* bildet. Der kürzere Arm des Fühlhebels endigt in eine schwach abgerundete Tasterspitze und wird durch eine am längeren Arm wirkende Blattfeder *E* der Messschraube entgegengedrückt. Der Taster ist mit einem Spitzengehänge versehen und kann nach jeder Richtung leicht bewegt werden. Die Umdrehungen der Mikrometerschraube werden an einer über der Schraubentrommel angebrachten Skala *C* gemessen, deren Teilung den Schraubengängen entspricht. Ein Umgang der Schraube hat den Wert von 0,5 mm und wird durch die Trommel *B* noch in Zehntel und Hundertstel eingeteilt, so dass also eine Ablesung bis auf 1/200 mm erreicht wird.

Der Probekörper *P* wird behufs Ausmessung zwischen Fühlhebel und Messschraube eingeführt und auf einer kleinen Konsole des Säulenstativs *H* gelagert. Die Tasterspitzen werden in die Körner der Achatplättchen eingesetzt und durch Umdrehung der Mikrometerschraube der Fühlhebel zum Einspielen auf die Marke *F* gebracht, womit für jede Einstellung der Tasterdruck genau normiert ist.

Die Länge des Probekörpers ergiebt sich aus der Ablesung des Standes der Mikrometerschraube bei genau einspielendem Fühlhebel unter Hinzurechnung einer konstanten, dem Nullpunkt der Skala entsprechenden Tasterweite. Diese ist bei jedem der Apparate auf 95 mm gebracht, womit die Ausrechnung der Länge möglichst vereinfacht ist. Ergiebt sich z. B. bei Abmessung eines Probekörpers ein Stand der Messschraube von 9,56 Umgängen (Skalenteilen), so ist die absolute Länge des Körpers $L = \frac{9{,}56}{2} + 95{,}00 \text{ mm} = 99{,}78 \text{ mm}$.

Die Probekörper werden in kleinen Metallrahmen ganz so wie die Normalzugkörper mit dem Spatel eingeschlagen.

Zur Kontrole der Tasterweite wird jedem Apparat ein in Holz gefasstes Metallstäbchen beigegeben, dessen Länge auf 100,00 mm abjustiert ist. Beim Einspielen des Fühlhebels ist der Skalenstand hierfür 10,00, mithin ist unter Hinzurechnung der konstanten Tasterweite beim Skalenstand 0,00 = 95,00 mm die Länge des Kontrolstabes $l = 95{,}00 + \frac{10{,}00}{2} = 100{,}00$ mm. Bei wiederholter Abmessung ist dieses Stäbchen wie auch der Probekörper überhaupt stets in der erstmaligen Lage zwischen die Tasterspitzen einzuführen und darf nicht

willkürlich gewechselt werden. Durch eine einfache Bezeichnung des Probestabes, wobei oben und vorn, links und rechts zu berücksichtigen ist, kann die Lage der Körper leicht fixiert werden. Bei allen Messungen ist stets die Temperatur zu berücksichtigen, da Temperaturänderungen eine Korrektur notwendig machen. Dieser Korrektur wegen wird jedem Apparat eine besondere Anweisung nebst Tabelle beigegeben.

Bei den Versuchen mit dem Bauschingerschen Taster-Apparat haben sich indessen gewisse Schwierigkeiten herausgestellt, die darauf beruhen, dass die Ergebnisse infolge der Verschiedenheit der Hand-

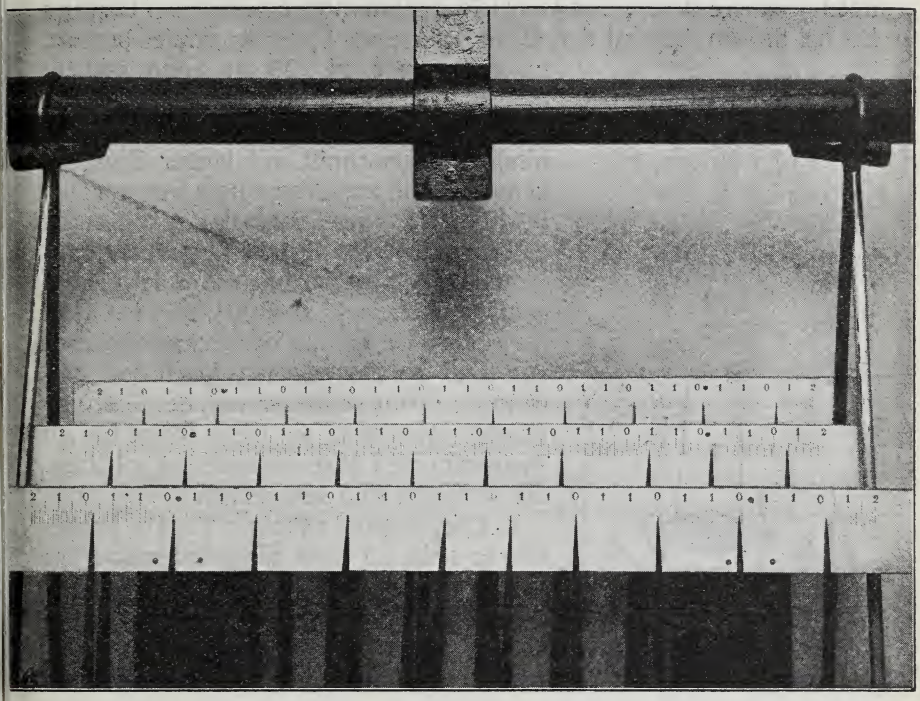


Fig. 19.

habung beim Einlegen der Stäbe in den Apparat leicht abweichen. Die Messing- oder Achatplättchen nützen sich ab oder setzen sich voll, und es giebt leicht Differenzen in der Messung, die deren Ergebnisse zweifelhaft erscheinen lassen. Die Geschicklichkeit des Beobachters spielt ausserdem eine grosse Rolle. Professor Martens hat sich nun, dem Grundgedanken des Ausdehnungsmessers von Debray-Paris folgend, bemüht, einen Apparat zu construieren, bei dem die Stäbe ein für alle Male an ihrer Stelle und in Verbindung mit der Messvorrichtung bleiben. Dies bedingt, dass für jeden Stab auch ein Zeiger da ist, dessen Stellung an der Skala abgelesen wird. Um auch die Irrtümer

in der Niederschrift zu umgehen, werden 30 Instrumente in bestimmten Zeitabschnitten gleichzeitig auf eine Platte photographiert. (Fig. 19).

Der Apparat in seiner einfachsten Form besteht aus einem Metallgestell, in dem eine Reihe von Probekörpern nebeneinander stehen. Auf den Körpern ruht ein Messingblöckchen mit einer Schneide, und die andere Schneide ist auf dem Gestell gelagert. Dieses Messingblöckchen trägt einen langen Zeiger. Wenn der Stab sich ausdehnt, wird das Blöckchen gehoben und der Zeiger schlägt oben nach der Seite aus. Man kann damit die Ausdehnung im Verhältnis von 1 : 20 messen.

Fig. 20 und 21 zeigen eine andere Form des Apparates, die eine noch genauere Bestimmung der Längenänderungen gestattet. Martens hat bei diesem Apparat den Grundsatz seines Spiegelapparates benutzt, indem er, wie Fig. 20 in vergrössertem Masstabe zeigt, als Vergrösserungsvorrichtung eine Stahlschneide *a* von rhombischem Querschnitt mit langer Zunge *z* benutzt, die er zwischen einem festgestellten Bock *b* und einer Drahtfeder *c* in Kerben einklemmt. Wenn nun die Drahtfeder *c* aus irgend einer Ursache eine auf- oder niedergehende Bewegung ausführt, so wird diese nach dem Verhältnis der Schneidenbreite von *a* zu der Zungenlänge (nach dem Verhältnis 1 : 100) vergrössert an der Skala angezeigt. Man kann auf diese Weise bis auf $^1/_{1000}$ mm die Längenänderungen schätzen; die Anzeigen sind sehr sicher.

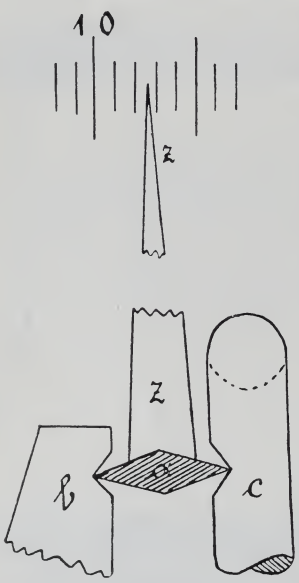


Fig. 20.

Der Vorgang ist folgender: Der Probekörper steht auf einer Einstellschraube, die in einer Brücke gelagert ist. Diese kann an den beiden seitlichen Stahldrähten festgeklemmt werden. Die zweite Brücke trägt das in Fig. 20 dargestellte Böckchen und die Stahldrahtfeder *c* und diese Feder *c* hält mit ihrer Spitze den Probekörper im Instrumente fest, sodass dieser nur von zwei Spitzen berührt und gehalten wird. Wenn also der Körper seine Länge ändert, so muss eine Bewegung von *c* und damit der Zungenausschlag von *z* erfolgen. Mittelst der Schraube kann der Zeiger *z* zu Anfang des Versuches auf Null eingestellt werden.

Die Längenänderungen des Probekörpers werden in dem Apparat gewissermassen mit einem Stahlkörper von gleicher Länge verglichen, was den Vorteil bietet, dass die Wärmeschwankungen im Apparat und Probekörper nur einen sehr geringen Einfluss auf die Ablesungen haben, weil die Wärmedehnungszahlen von Cement und Stahl fast gleich sind. Die Probekörper können, ohne die Körper berühren zu

müssen, an Luft oder in Wasser gebracht werden. In der Versuchsanstalt zu Charlottenburg ist auch eine besondere Einrichtung getroffen worden, um Mörtelkörper auf Längenänderung durch inneren Wasserdruck zu prüfen. Die Vorrichtung erfordert indessen sehr sorgfältige Beobachtung und ist für den Privatgebrauch aus diesem Grunde nicht geeignet.

6. Reinheit der Cemente.

Wie bereits erwähnt, werden von manchen Fabriken dem Cement minderwertige Stoffe beigemischt, als da sind Farbstoffe, Thon, Sand, Asche, gemahlener Kalkstein, gemahlener Thon, Schiefer, hydraulischer Kalk, Trass und Kalksilicate. Von den letzteren ist in neuerer Zeit namentlich die Hochofenschlacke in grossem Umfange benutzt worden.

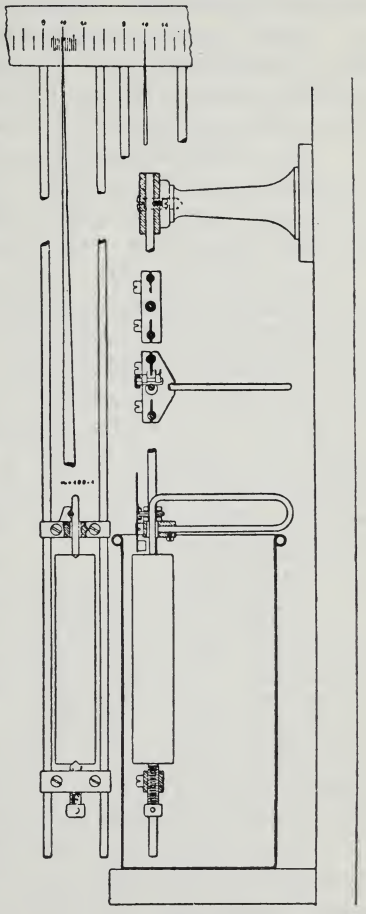


Fig. 21.

Die Feststellung derartiger Fälschungen des Portland-Cementes ist dann nicht zu umgehen, wenn, wie dies beabsichtigt ist, die Normen für einheitliche Lieferung und Prüfung von Portland-Cement nur für die Prüfung wirklicher Portland-Cemente Gültigkeit haben sollen. Nur dieses Bindemittel lässt sich durch die Normenprüfung einigermassen erschöpfend beurteilen, andere Bindemittel aber, nach dem gleichen Verfahren geprüft, können nicht ohne weiteres mit Portland-Cement in Vergleich gestellt werden.

Es würde zu weit führen, hier alle diejenigen Verfahren zu besprechen, welche zur Aufdeckung der sämtlichen benutzten Zumischmittel brauchbar sind. Nur die Verfahren zur Ermittelung beigemischter Hochofenschlacke sollen in Anlehnung an eine Aeusserung von Professor Fresenius, der sich auf diesem Gebiete besondere Verdienste erworben hat, kurz erwähnt werden.

Prof. Dr. Th. W. Fresenius bezeichnet die ohne Wissen des Käufers vorgenommene Zumischung von Hochofenschlacke zum Portland-Cement als „Verfälschung“ des letzteren. Die von interessierter Seite ausgesprochene Meinung, Schlacke falle als ein aus

Kalk und Thon enthaltender Rohmischung gebranntes Produkt ohne weiteres unter die Begriffserklärung des Portland-Cementes, sei selbst ein „kalkarmer Portland-Cement", ist deshalb unzutreffend, weil einerseits die quantitativen Verhältnisse der Hauptbestandteile nicht übereinstimmen, und andererseits deshalb, weil die Schlacke ein geflossenes Glas ist, während der Cement nur gesintert ist, was offenbar auf die hydraulischen Eigenschaften von wesentlichem Einfluss ist.

Das Freseniussche Laboratorium in Wiesbaden hat sich mit der Untersuchung des Portland-Cements auf Beimengungen von Schlacke schon seit etwa 18 Jahren beschäftigt, und Prof. Fresenius hat erst kürzlich wieder über die Ergebnisse neuerer Versuche berichtet.*)

In der Begriffserklärung der Normen für Portland-Cement nicht enthalten, nach Fresenius' Ansicht aber trotzdem zur Kennzeichnung des Cementes gleichzeitig heranzuziehen, ist die erfahrungsgemäss feststehende und zwischen gewissen Grenzen schwankende Zusammensetzung des Portland-Cementes. Er hält das Verfahren, den Cement, welcher bestimmte geschätzte Eigenschaften als hydraulisches Bindemittel besitzt, mit fremden Stoffen zu vermischen und diese Gemische ebenfalls unter dem Namen Portland-Cement zu verkaufen, selbst in den Fällen für unstatthaft, in denen das Zusatzmittel thatsächlich eine Verbesserung der Eigenschaften des Bindemittels bewirkt. In der Regel handelt es sich jedoch um einfache Zumischung billiger fremder Stoffe, unter denen das Hochofenschlackenmehl, weil in grossen Massen als Abfallstoff lieferbar, in erster Linie in Betracht kommt.

Zum Nachweis des Zusatzes von Hochofenschlacke empfahl Fresenius früher folgende Bestimmungen: Das spezifische Gewicht vor und nach dem Glühen, den Glühverlust, die Alkalität des wässerigen Auszuges und das Reduktionsvermögen gegen Permanganatlösung. Namentlich die erste und letzte Bestimmung bieten Anhaltspunkte zur Erkennung des Schlackenmehles, weil dieses ein niedrigeres spezifisches Gewicht hat als Portland-Cement, und weil es infolge seines Gehaltes an Sulfiden in saurer Lösung einen höheren Verbrauch an übermangansaurem Kalium aufweist.

Die Untersuchung mit Chamäleonlösung führt Fresenius gegenwärtig derart aus, dass der Cement direkt nach dem Ansäuern mit einem Ueberschuss von Permanganat-Lösung versetzt, nach einigem Stehen eine bestimmte Menge einer titrierten Lösung von Mohrschem Salz (Ferroammoniumsulfat) zugefügt und dessen Ueberschuss dann wieder mit Permanganat-Lösung zurückgemessen wird. Man bekommt nach diesem „Ueberschuss-Verfahren" übereinstimmende und gegen die direkte Titration etwas höhere Werte.

*) Vortrag im Verein für Untersuchung der Nahrungs- und Genussmittel.

Nach den früheren Erfahrungen durfte man allgemein einen hohen Verbrauch an Permanganat als Zeichen der Anwesenheit von Schlackenmehl ansehen. Es hat sich aber neuerdings ergeben, dass auch von Schlackenmehl freie Cemente unter Umständen starke Reduktionswirkung zeigen. Diese Beobachtung ist bei solchen Cementen gemacht worden, welche im rotierenden Ofen (und zwar mit Kohlenstaubfeuerung reduzierend) gebrannt wurden. Aus diesen Gründen hat Fresenius die Sulfidschwefelbestimmung selbst wieder aufgenommen. Er übergiesst den Cement mit einer Mischung von Salzsäure und arseniger Säure, zieht die Hälfte der überstehenden Flüssigkeit ab und fällt mit Schwefelwasserstoff den Ueberschuss des Arsens als Schwefelarsen. Da man dieses aber nicht direkt wägen kann, weil ihm immer durch die Einwirkung des Eisenchlorids abgeschiedener Schwefel beigemengt ist, löst man das Schwefelarsen auf dem Filter in Ammoniak, dampft die Lösung ein, erhitzt mit Schwefelsäure und titriert mit Jodlösung.

In der Frage des Nachweises eines Schlackenmehlzusatzes hat sich nun weiterhin neuerdings noch eine gewisse Schwierigkeit dadurch geltend gemacht, dass viele Hochofenschlacken eine dem Thon verwandte Zusammensetzung zeigen und demnach statt dessen als Rohmaterial zur Cementbereitung dienen können.

Wenn auch durch die bisher in dieser Richtung angestellten Untersuchungen festgestellt wurde, dass solche aus Schlackenmehl enthaltender Rohmischung gebrannten Cemente gegenüber den gewöhnlichen keinen erhöhten Verbrauch an Permanganat zeigten, so war doch immerhin die Möglichkeit vorhanden, dass dies auch bei gewisser Brennweise (z. B. im rotierenden Ofen) nicht zuträfe.

Deshalb erschien es wünschenswert, ein Verfahren zu besitzen, welches, falls der Cement thatsächlich mit fremden Bestandteilen vermischt ist, gestattet, diese von dem Cement zu trennen.

Da die Zumischungen, insbesondere Schlackenmehl, wohl durchweg ein niedrigeres spezifisches Gewicht haben als Portland-Cement, so lag von vornherein der Gedanke nahe, durch eine geeignete Flüssigkeit, deren spezifisches Gewicht zwischen dem der beiden Gemengteile liegt, die Trennung herbeizuführen. Fresenius hat dahingehend schon im Jahre 1885 Versuche mit Quecksilberjodkalium angestellt. Hauenschild hat später Jodmethylen für den genannten Zweck empfohlen. Indessen lag eine gewisse Schwierigkeit in der schnellen und sicheren Trennung der leichten und schweren Teile, da häufig infolge von Oberflächenwirkung Untersinken der spezifisch schwereren Teile nicht in genügendem Masse eintrat.

Der Verein Deutscher Portland-Cementfabrikanten hat diese Schwierigkeit durch Anwendnung des Haradasschen Scheidetrichters und des Vakuums überwunden. Das Verfahren ist in der Königl. mechanisch-technischen Versuchsanstalt zu Charlottenburg nach-

geprüft, in einigen Punkten verbessert und die Gesamt-Bestimmung an beigemischter Hochofenschlacke vorbehaltlich weiterer Verbesserungen in folgender Form empfohlen worden.

A) Vorversuch.

Der zu untersuchende Cement wird nach Fresenius auf Kaliumpermanganatverbrauch geprüft. Beträgt dieser weniger als 3 mg für 1 g Cement, so ist der Cement nicht verdächtig, Schlacke zu enthalten; beträgt der Verbrauch an Kaliumpermanganat mehr als 3 mg für 1 g Cement, so kann der Cement sein:

1. Drehrohrofen-Cement (Cement in reducierender Flamme gebrannt);
2. Mit Hochofenschlacke vermischter Cement:
   a) aus Rohmehl, dem Stückenschlacke zugesetzt wurde;
   b) nach dem Brennen gemischt;
3. Cement, welchem vor dem Brennen Schlacke in inniger Mischung zugesetzt wurde.

Der Cement mit mehr als 3 mg Kaliumpermanganatverbrauch ist dem Trennversuch in folgender Weise zu unterwerfen:

B) Trennversuch.

Aus dem Cement werden mit Hilfe der Siebe von 2500, 5000 und 10 000 Maschen zwei Griese α) und β) abgeschieden und bei etwa 100 C⁰ sorgfältig getrocknet. 5 g jeden Grieses werden in einem ausgetrockneten Scheidetrichter nach Haradas in einer Mischung von Methylenjodid und gereinigtem Terpentinöl, die bei 15 C⁰ das spezifische Gewicht 3,01 besitzen muss, geschüttelt. Das nötigenfalls mit Chlorcalcium getrocknete Methylenjodid wird vor dem Gebrauch durch ausgeglühten und im Exsikkator wieder erkalteten Portland-Cement filtriert. Die Bestimmung des spezifischen Gewichtes der Flüssigkeit erfolgt mit Hauenschilds Aräometer.

Die Scheidung zwischen den Teilen jedes Grieses, die leichter oder schwerer sind als 3,01, erfolgt beim Evakuieren. Die Grösse des Luftdruckes ist ohne Bedeutung. Bei Benutzung einer Wasserstrahlluftpumpe ist es zweckmässig, zwischen Scheidetrichter und Saugpumpe eine Woulffsche Flasche einzuschalten.

1. Die leichten Teile, welche auf der Flüssigkeit schwimmen, können sein:
   a) Kohle, ... mittleres spezifisches Gewicht 1,39,
   b) Gips, ... „ „ „ 2,33,
   c) Kohlenschlacke, . . „ „ „ 2,73,
   d) Hochofenschlacke, „ „ „ 2,94.

Mit entsprechend gestellter Scheideflüssigkeit können diese Bestandteile von einander getrennt werden.

Bei Cementen wie unter A) 1 und 3 angegeben, scheidet sich nur wenig Leichtes ab, bestehend vorwiegend aus a – c). Bei den mit

Schlacke vermischten Cementen (A 2a und b) scheidet sich die Schlacke glatt ab.

2. Die schweren Teile, welche in der Flüssigkeit vom spezifischen Gewicht 3,01 untersinken, können sein:
   e) Cement, mittleres spezifisches Gewicht 3,035;
   f) Eisenteile aus Hochofenschlacke und verschiedenen Eisenverbindungen.

Mit Methylenjodid oder entsprechend gestellter Scheideflüssigkeit können diese Teile noch getrennt werden.

C) Analyse.

Die chemische Analyse der einzelnen Bestandteile giebt Aufschluss darüber, um welche Stoffe es sich handelt. Hochofenschlacke ist immer kieselsäurereicher und kalkärmer als Portland-Cement.

Fresenius hat dieses Verfahren noch weiter ausgebaut, indem er die Centrifuge zur Trennung der Teile verwendet.

Man bringt die Mischung mit einer genau auf 3,01 spezifisches Gewicht eingestellten Mischung von Jodmethyl und Benzol in ein Hahnrohr, schleudert ab und schliesst den vorher geöffneten Hahn. Sind zwei ungleich schwere Bestandteile vorhanden, so befindet sich der leichtere oben auf der Flüssigkeit und kann nun ausgegossen, bezw. ausgespült werden. Desgleichen kann man nach Oeffnung des Hahnes den unten angesammelten schweren Anteil gewinnen. Beide lassen sich wägen, analysieren und insbesonders auch der Sulfidschwefel-Behandlung unterwerfen. In der Versuchsanstalt zu Charlottenburg wird zu gleichem Zweck ein eigens dazu konstruiertes gläsernes Scheidegefäss benutzt, welches den Vorteil besitzt, dass man die sich trennenden Bestandteile sehen kann.

Finden sich zwei verschieden schwere Anteile von verschiedener Zusammensetzung (wobei der leichtere kalkärmer und kieselsäurereicher ist) und verschiedenem (bei dem leichteren Anteil höherem) Sulfidschwefel-Gehalt, so liegt eine nachträgliche Zumischung von Schlackenmehl zum Portland-Cement vor. Er könnte allerdings auch aus einer Schlacke enthaltenden Rohmischung gebrannt sein, wobei die Schlacke zum Teil nicht feingemahlen, sondern in gröberen Teilen angewendet worden wäre. In diesem Falle wäre die Schlacke zwar nicht nachträglich zugemischt, aber die Wirkung würde dieselbe sein, nämlich eine Mischung von Portlandcement mit unveränderter Hochofenschlacke. Ein solches Gemisch ist aber nach Fresenius kein Portland-Cement, weil bei ihm die Bestandteile der Rohmischung nicht innig gemischt waren und so die Schlacke beim Brennprozess nicht aufgeschlossen wurde.

6. Biegefestigkeit.

An Stelle der Zugfestigkeits- und Druckfestigkeitsversuche ist es möglich — wenn auch weniger gebräuchlich — Biegeversuche von

Mörtelstäben auszuführen. Zu diesem Zweck hat Dr. Michaelis den weiter oben (S. 67) beschriebenen Zugfestigkeitsmesser nach Frühling-Michaelis umgebaut.

Die Vorrichtung (Fig. 22) besteht aus einer stählernen Brücke *A*, die an Stelle der unteren Zugklaue auf der mit dem Handrad versehenen Zugschraube im Kugelgelenk sitzt. Auf den beiden cylindrischen Schenkeln der Brücke sind die Sättel *B B* aufgesteckt, welche die Auflagen für den Probestab bilden. Der Angriff der Kraft befindet sich auf der unteren Seite des Stabes in der Mitte, indem sich hier die Druckschneide des Gehänges *C* an den Probestab anlegt. Spannweite

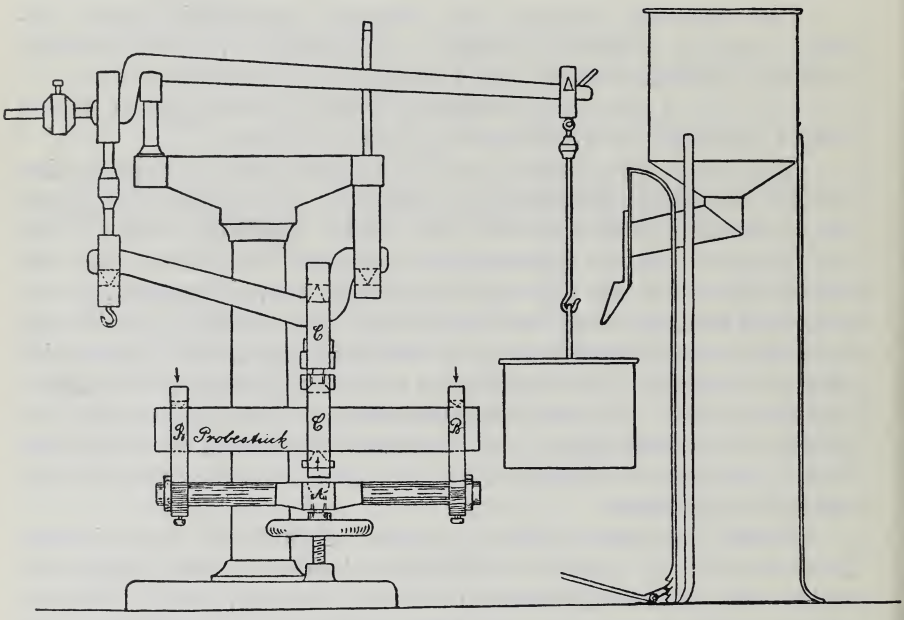


Fig. 22.

und Querschnittsabmessungen des Probestabes sind behufs Vereinfachung der Berechnung der Biegefestigkeit auf ein bestimmtes Mass gebracht. Der Probestab hat quadratischen Querschnitt mit 4 cm Seitenlänge und als Spannweite ist ein freier Abstand der Stützschneiden von 257 mm angenommen. Für diesen Querschnitt und für die bezeichnete Spannweite ergiebt sich die Biegungsspannung σ gleich dem 30fachen der am Hebel 1:50 angewandten Last.

Die Verschiebung der Sättel *B* ist auf der Brücke *A* nach aussen durch 2 Stellringe begrenzt. Nach der Mitte der Brücke zu verschoben, ergiebt sich für die Sättel ein Endabstand von 100 mm. Diese Stützweite kommt bei kleinen Probestäben mit 2,2 cm quadratischem Querschnitt in Anwendung. Zum Brechen der 2 cm dicken Stäbe muss die Druckschneide des Gehänges um 2 cm gehoben werden. Dieselbe ist

zu diesem Zweck mit seitlichen Führungsleisten versehen und zum Verschieben im vertikalen Sinne eingerichtet. Durch Unterlage eines 2 cm dicken Stahlklötzchens wird die verlangte erhöhte Lage erhalten.

Für Probestäbe mit 4 cm Breite und 2 cm Dicke ist eine Spannweite von 21,33 cm vorgesehen, unter welchen Verhältnissen sich die Biegespannung σ zu 100 P berechnet, wobei P die am Hebel 1:50 angewandte Last bedeutet.

$$(\sigma = \frac{3.\ P.\ l}{2.\ b.\ h^2} \text{ also } \frac{3.\ P.\ 21,\ 33.\ 50}{2.\ 4.\ 2^2} \text{ oder } \sigma = 100\ P)$$

Die grossen Stäbe von 16 qcm Querschnitt bieten den Vorteil, dass an denselben noch 4 Druckfestigkeitsbestimmungen ausgeführt werden können. Jede Hälfte des gebrochenen Stabes giebt zwischen 2 Stahlplatten von 4 cm Breite 2 Druckproben, deren Festigkeit nach Michaelis Angaben nahezu der Festigkeit der für sich eingerammten Würfel gleichkommt.

7. Abnutzbarkeit.

Da Cement vielfach auch zur Herstellung von Strassenpflaster und zu Flurbelag benutzt wird, ist zuweilen seine Prüfung auf Abschleifbarkeit erwünscht. Zu diesem Zweck dient eine Schleifscheibe Bauart Bauschinger (Fig. 23). Die Scheibe wird mit einer bestimmten Gewichtsmenge Schmirgel bestimmter Korngrösse bestreut und in Umdrehung versetzt. Nach einer vorgeschriebenen Anzahl Drehungen wird der unter gleichbleibendem Druck an die Schleifscheibe angepresste, würfelförmige Probekörper gewogen, und der Gewichtsverlust gegenüber dem Anfangsgewicht des Körpers festgestellt. Diese Versuche sind namentlich geeignet, um die Verkittungskraft der Cemente bei Verwendung eines bestimmten Sandes und verschieden hoher Sandmischungen mit einander zu vergleichen.

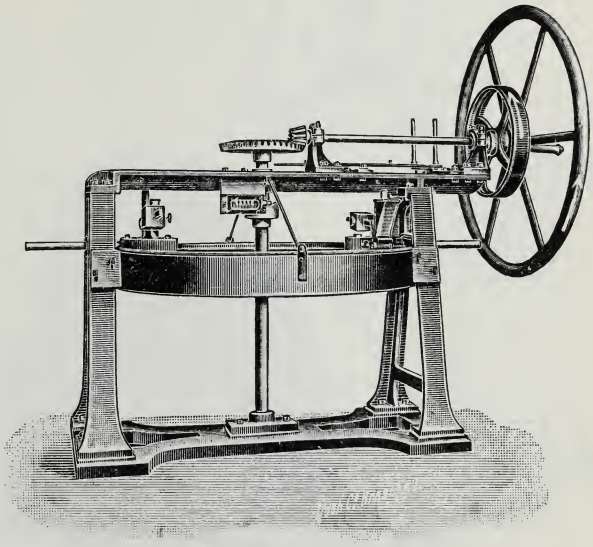


Fig. 23.

8. Betonfestigkeit.

Die Prüfung von Portland-Cement, wie sie allgemein gebräuchlich ist, wird noch ergänzt durch die Prüfung von Beton.

Dazu gehört eine Betonprüfungsmaschine Bauart Martens, die vom Deutschen Beton-Verein angenommen und in Fig. 24 abgebildet ist.

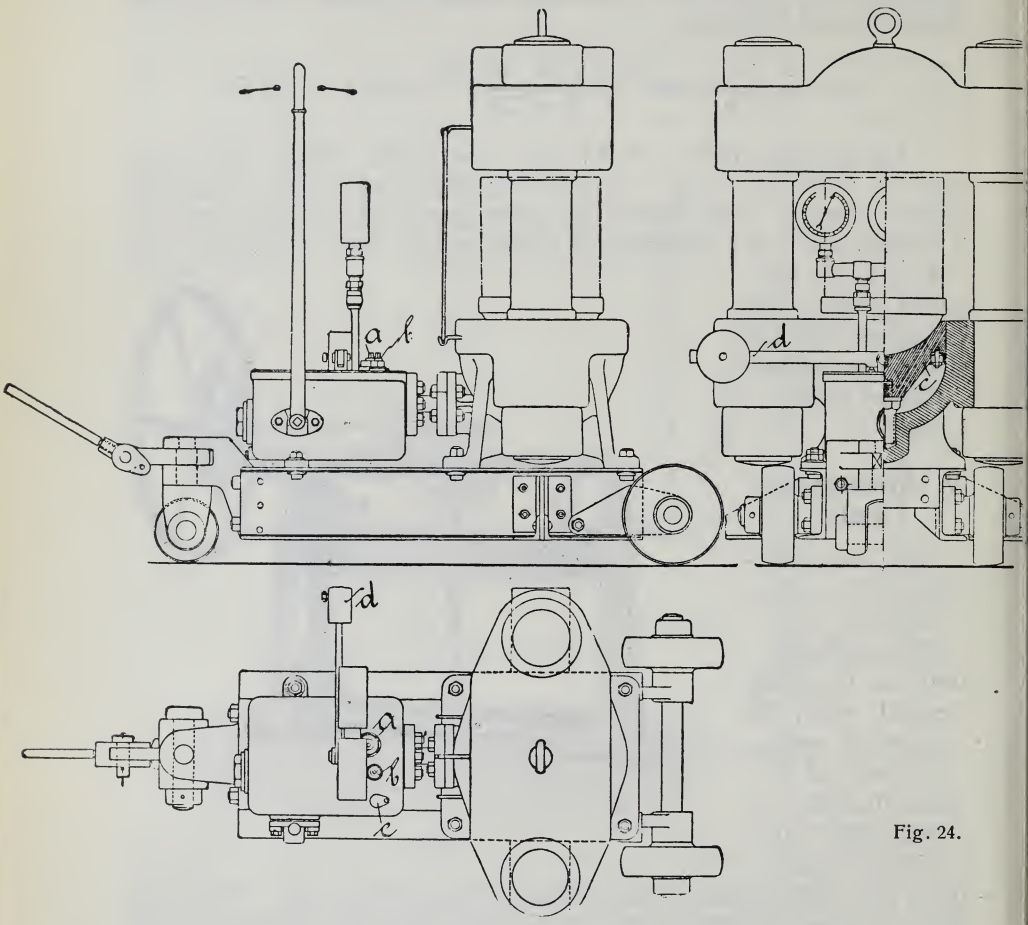


Fig. 24.

Die Maschine ist für die Prüfung der Druckfestigkeit von Betonwürfeln mit höchstens 300 mm Kantenlänge bestimmt und für einen normalen Druck von 300000 kg gebaut, welcher höchstens um 10 pCt. überschritten werden darf. Die Ablesung des Druckes erfolgt direkt an einem Manometer, dessen Skala in tons eingeteilt ist; die Reibung des Lederstulpes am Presskolben wurde bei der Teilung berücksichtigt, sodass die Ablesung die wirkliche Belastung des Versuchskörpers ergiebt. Zur Sicherheit ist ein zweiter Kontrolmanometer vorgesehen.

Die Presse und die Pumpe sind auf einen walzeisernen Rahmen aufgeschraubt, welcher mit Laufrädern und Deichsel versehen ist; auf Wunsch wird die Prüfungsmaschine aber auch ohne Fahrwerk geliefert.

Aus der Abbildung Fig. 24 wird die Konstruktion der Maschine ohne weiteres verständlich.

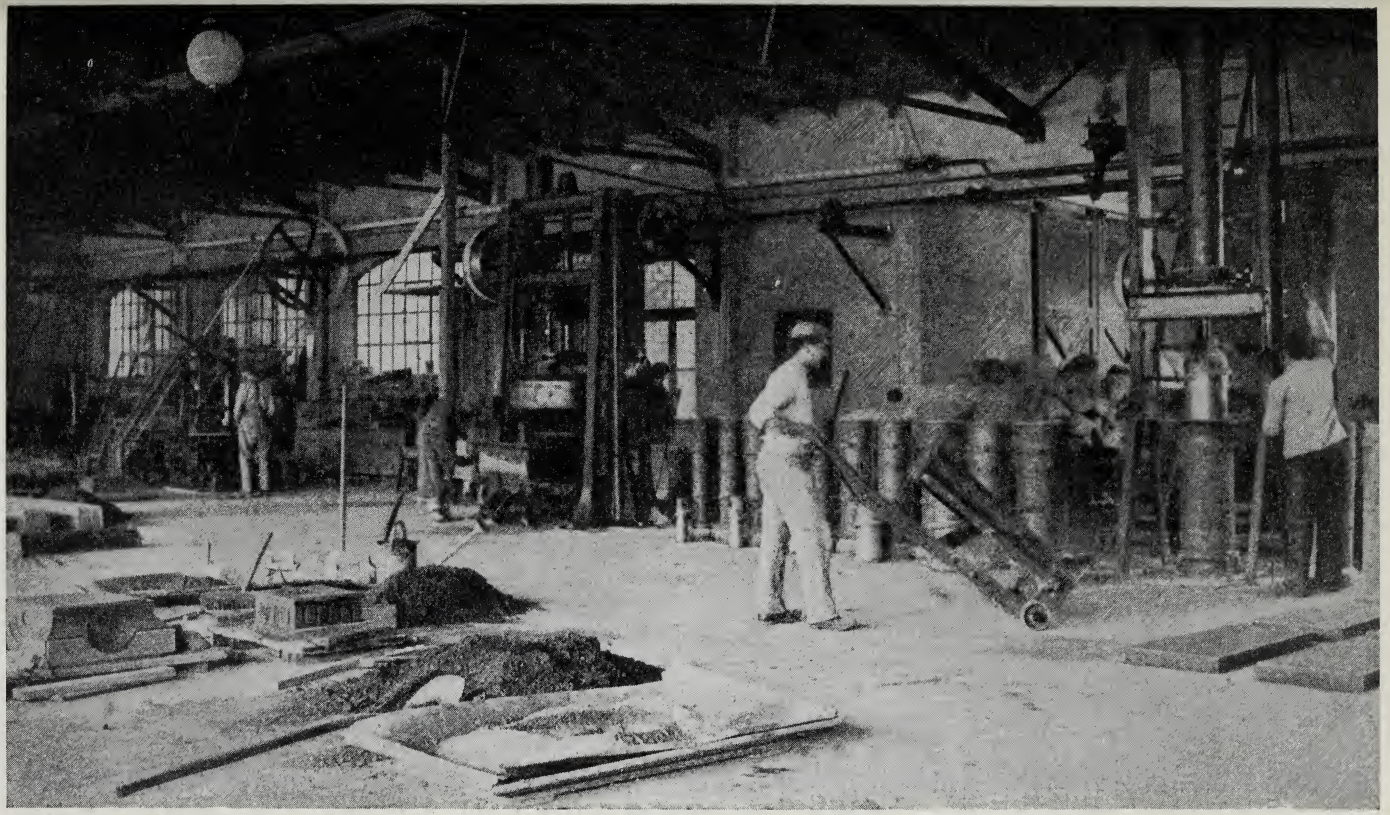
a b sind Verschraubungen, welche die Pumpenteile zugänglich machen, *c* ist der Presskolben, welcher oben in einem Kugellager beweglich die Pressplatte trägt, *d* ein Sicherheitsventil, um die Ueberlastung der Manometer zu verhindern und *e* eine durch Klappe verschlossene Oeffnung zum Füllen des Pumpengefässes.

Der grösste Teil der beschriebenen Apparate und Maschinen und noch manche andere Prüfungsgeräte sind zur Ausstellung gelangt und werden während der Dauer der Ausstellung im Betriebe vorgeführt.

III. Die Cementwaren- und Betonindustrie in Deutschland.

Die Anwendung hydraulisch erhärtender Mörtel und des mit Zuschlag von Kies daraus hergestellten Betons ist eine sehr alte. Schon die Römer haben bekanntlich mit Hilfe ihrer vulkanischen, in Mischung mit gelöschtem Kalk erhärtenden Erden, der Puzzolan- und Santorinerde, Fundamente und sogar Kanalbauten ausgeführt. In Frankreich führte Vicat die Cementfabrikation und den Betonbau ein; dort wurde bereits 1816 die erste Betonbrücke aus Roman-Cementbeton bei Souillac über die Dordogne gebaut. In England erregte die Betonbauweise zuerst grössere Aufmerksamkeit durch die Ausführung des Eddystone-Leuchtthurmes in tosender Brandung.

Die Natur der im Anfang verwendeten Bindemittel, Puzzolanerde, Trass und Roman-Cement, welche unter Wasser oder sonst feucht erhalten gut erhärten, aber bei Austrocknung in Luft und dem Witterungswechsel ausgesetzt Mängel zeigen, hatte zur Folge, dass viele Jahre Beton nur zu Wasserbauten und Tiefbauten verwendet wurde. Wir sehen schon früh grosse Hafenbauten, Wellenbrecher und Quaimauern aus Beton in Italien, Frankreich, England und Holland erstehen; 1854 wurde bereits die Franz-Josef-Schiffahrtsschleuse an der Donau in Ungarn mit 100 m Länge und 9 m Breite als erste in Europa ganz aus Beton erbaut, die Anwendung des Betons zum Hochbau kam jedoch selbst lange Zeit nach Erfindung des Portland-Cementes über Versuche nicht hinaus. Erst nachdem man gelernt hatte, den Portland-Cement wesentlich zu verbessern, ihn vollkommen gleichmässig und zuverlässig, zugleich aber auch sehr viel billiger als anfangs herzustellen, gewann die Anwendung des Portland-Cementbetons mehr und mehr Eingang auch im Hochbau. Es entstanden die ersten Cementwaren-Fabriken in Frankreich, der Schweiz und Deutschland mit Verwendung von Roman-Cement und später von Mischungen aus Roman-Cement mit Portland-Cement, so



Inneres einer Cementwaren-Fabrik. Hydraulische Presse, Kniehebelpressen, Rohrpressen, Mischmaschinen und Schleiftische.

in Grenoble und Ulm, wo vorzügliche Rohmaterialien für die Fabrikation von Roman-Cement vorhanden waren.

Den Eigenschaften des verwendeten Cementes, der meist sehr raschbindend war, entsprach die Fabrikationsweise. Man stellte kleinere Behälter, Viehkrippen, Wassersteine, Röhren und Bauverzierungen durch Eingiessen des breiig angemachten Betons in Holz- und Gipsformen her.

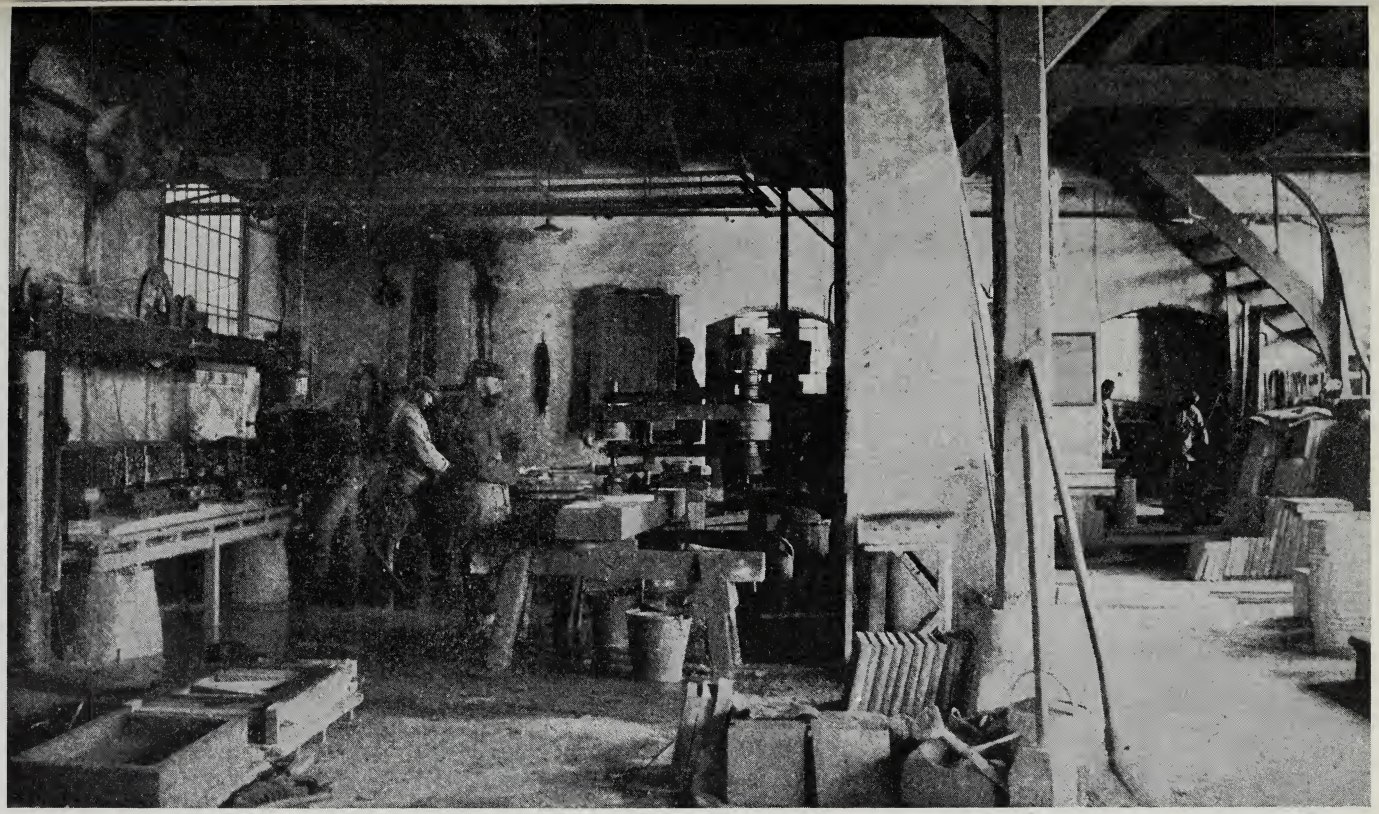
Die ersten Röhren aus Cement für Kanalisationszwecke waren in ihrer Form den Thonröhren mit übergreifender Muffe nachgeahmt, fanden aber bei ihrem durch die grössere Wandstärke bedingten höheren Gewichte nur wenig Anwendung. Mit den Fortschritten in der Fabrikation von Portland-Cement in Deutschland nahm aber auch die Cementwaren- und Betonindustrie einen ungeahnten Aufschwung.

Betrachten wir zunächst die Cementwarenindustrie.

Während in Norddeutschland zuerst Aug. Sattrée in Düsseldorf anfangs der sechsziger Jahre sich mit der Herstellung von Röhren und Bauornamenten aus Portland-Cement-Stampfbeton befasste – die Fabrik wurde später nach Obercassel verlegt und 1870 in die Gesellschaft für Cementsteinfabrikation Hüser & Co. umgewandelt – wurde in Süddeutschland von der im Jahre 1865 in Karlsruhe gegründeten Firma Dyckerhoff & Widmann zuerst die seither angewandte Arbeitsweise mit breiartig angemachtem Beton als fehlerhaft erkannt, uud auf Grund langjähriger systematischer Versuche das heute allgemein angewandte Verfahren der Herstellung der Cementwaren aus Stampfbeton auch dort eingeführt. Die Fabrikate fanden bald grösste Anerkennung und es entstanden in kurzer Zeit eine ganze Anzahl ähnlicher Geschäfte, so 1872 Wayss & Freytag in Neustadt a. H., Brenzinger & Co. in Freiburg, 1873 Liebold & Co. in Holzminden u. a. m.

Das Misstrauen, welches durch die frühere unsachgemässe Herstellung gegen alle Cementwaren Platz gegriffen hatte, wurde aber auch auf die verbesserten Fabrikate übertragen, und es bedurfte längerer Zeit, um es zu beseitigen. Namentlich wurde die Verwendung der Cementröhren zu Kanalisationszwecken aus den Kreisen der konkurrierenden Thonwarenindustrie vielfach in grundloser uud gehässiger Weise angefochten.

Auch Bauornamente und Kunststeine wurden aus Stampfbeton hergestellt, wozu jedoch die Verwendung der alten Leimformen nicht möglich war. Man half sich durch Anwendung eines dünnen Vorgusses und Eindrücken eines nur erdfeucht angemachten Betons bis zur Ausfüllung der Form. Um das Korn des natürlichen Sandsteins zu erhalten, werden die erhärteten Stücke mit Salzsäure abgewaschen. Diese Methode wurde namentlich von Brenzinger & Co. in Freiburg zu grosser Vollkommenheit ausgebildet. In neuester Zeit nimmt



Inneres einer Cementstein-Fabrik. Arbeit an den Schleifmaschinen.

die Kunstsandsteinfabrikation nach dem Verfahren von E. Schwenk und Schobinger & Rehfuss in Ulm grossen Aufschwung. Dieses Verfahren beruht auf der Verwendung künstlicher, farbiger Sande, welche durch Zerkleinerung von wetterbeständigen farbigen Kalksteinen und Marmorarten hergestellt werden. Die Werkstücke werden etwas grösser geformt und im halberhärteten Zustande vom Steinmetz wie der natürliche Stein bearbeitet. Sie erhalten vollständig Farbe und Aussehen des natürlichen Steines.

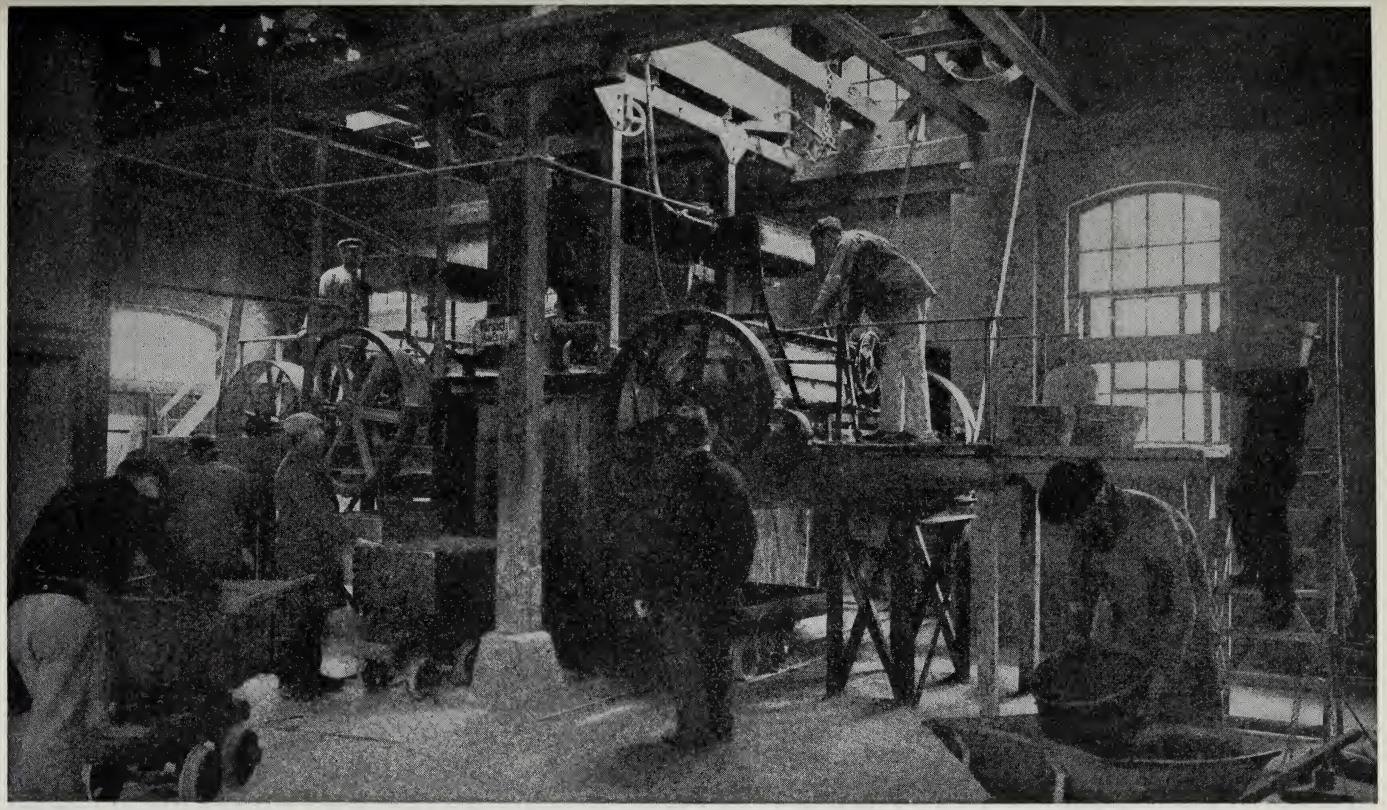
Angesichts der Thatsache, dass Denkmäler der Baukunst wie das Heidelberger Schloss in Folge der Verwitterung des verwendeten natürlichen Sandsteins rettungslos dem Verfall geweiht sind, kann nur gehofft werden, dass die kaum begreifliche Abneigung und das Misstrauen gegen einen derartigen künstlichen ausgezeichnet wetterbeständigen Stein einer besseren Einsicht weichen möge.

Eine grössere Bedeutung noch als die Fabrikation der Cementwaren hat im Laufe der letzten zwanzig Jahre die deutsche Betonindustrie gewonnen. Die fortschreitende Steigerung der Qualität des Portlandcementes und die durch die Arbeiten des Vereins deutscher Portlandcement-Fabrikanten auch auf dem Gebiete der Cementverarbeitung gewonnene Erkenntnis kam ihr sehr zu statten.

In Württemberg, wo noch heute die Cementwaren- und Betonfabrikation am stärksten ausgebildet ist, wurde Stampfbeton bereits in den sechziger Jahren des vorigen Jahrhunderts bei Eisenbahnbauten und Wasserversorgungsanlagen verwandt. Im Jahre 1868 und 1869 bot die Erbauung der Wasserleitung in Wiesbaden auf Veranlassung des damaligen Stadtbaumeisters Fach Gelegenheit zur umfangreichen Verwendung grösserer Cementröhren und 1882 zur Erbauung des ersten grösseren Wasserbehälters aus Portlandcement-Stampfbeton, und die günstigen Erfahrungen, welche man hierbei und bei Herstellung wasserdichter Keller bei einem Grundwasserdruck bis zu 2,5 Meter Höhe machte, führten zu immer grösseren und kühneren Beton-Constructionen, die erwiesen, dass der gut und sachgemäss verarbeitete Beton an Wiederstandsfähigkeit gegen Druck- und Zugspannungen dem bis dahin fast ausschliesslich zu wasserdichten Bauten verwendeten Cementmauerwerk weit überlegen ist.

Die ersten Gasbehälterbassins aus Beton wurden in Deutschland Ende der siebenziger Jahre durch die Heilbronner Baugesellschaft erbaut, ihnen folgte als erster grösserer Bau dieser Art im Jahre 1883 das Gasbehälterbassin in Chemnitz. Diese Bauten fanden in Fachkreisen soviel Anklang, dass in den folgenden Jahren eine sehr grosse Anzahl solcher Bassins grösster Art ausgeführt wurden.

Der Betonbau beschränkte sich aber nicht mehr auf wasserdichte Bauten dieser Art, sondern machte bald auf allen anderen Gebieten dem Mauerwerk erfolgreich Concurrenz, so namentlich auf dem Gebiete des Brückenbaues, wo durch die Constructionen und Ausführungen des



Arbeit an der Betonmischmaschine in einer Cementwaren-Fabrik.

leider zu früh verstorbenen Präsidenten von Leibbrand in Stuttgart in theoretischer und praktischer Beziehung die grössten Fortschritte gemacht wurden.

Die erfreuliche Zunahme des Baues gewölbter Steinbrücken ist zum grossen Teile der Betonbauweise zu danken, welche durch leichte Ueberwindung der Grundriss- und Formenschwierigkeiten, durch kurze Bauzeit und durch die jedes Mauerwerk übertreffende Festigkeit des Betons einen ungewöhnlich raschen Aufschwung genommen hat.*)

Im eigentlichen Hochbau machte die Verwendung des Betons anfangs nur geringe Fortschritte.

Der Verband deutscher Architekten- und Ingenieur-Vereine stellte im Jahre 1881 fest, dass im ganzen Vereinsgebiete bis dahin erst 17 Wohn- und 2 Stall- und Werkstatt-Gebäude aus Cement bekannt waren; der Verband sprach sich dahin aus, dass die Betonbauweise sich in einer Anzahl Fälle als brauchbar erwiesen habe und unter günstigen örtlichen Verhältnissen erhebliche Ersparnisse damit erzielbar seien, jedoch rechtfertigten die bisherigen Erfahrungen noch keine uneingeschränkte Empfehlung.

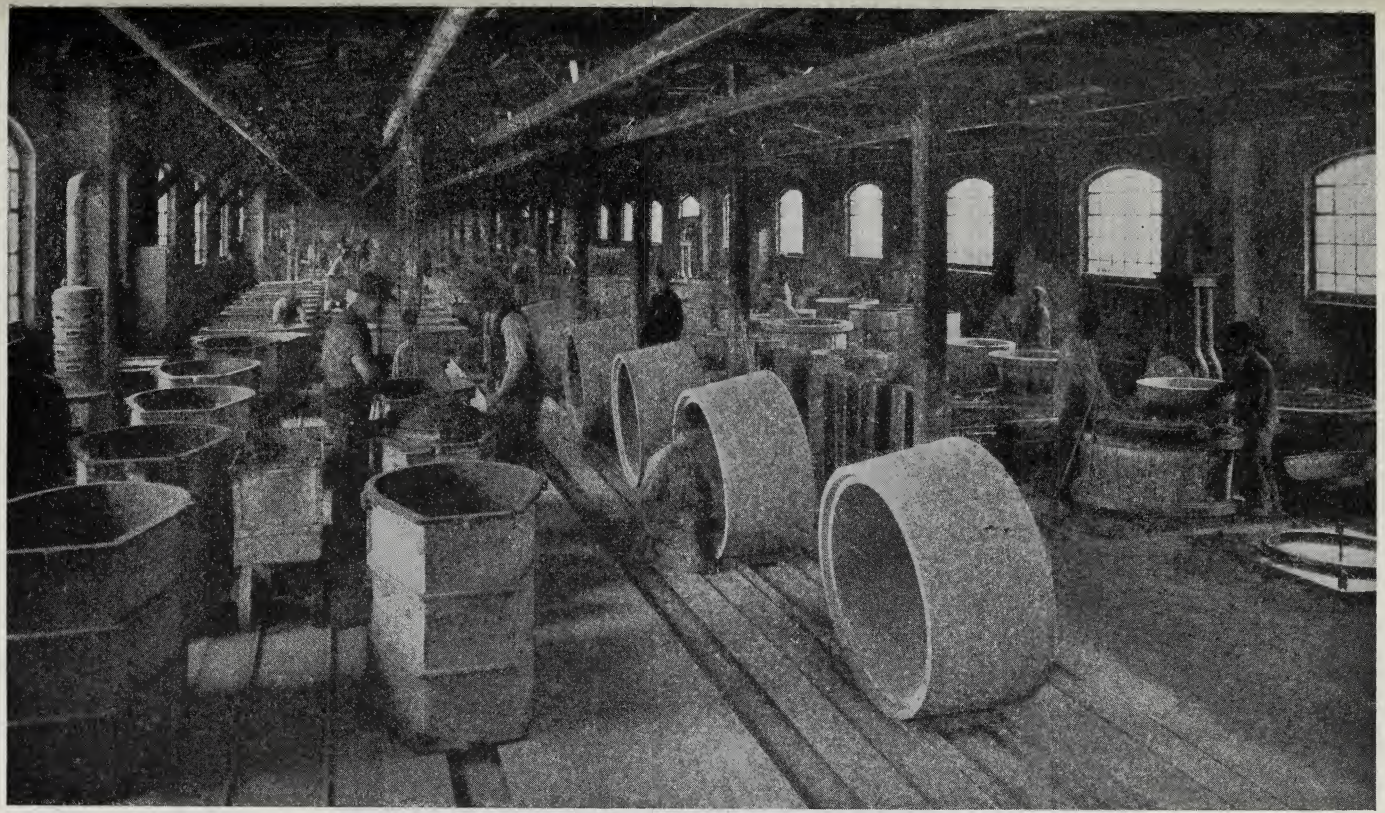
Es wurden damals noch Fehler in der Ausführung gemacht und es kam auch noch, wenn auch vereinzelt, Cement auf den Markt, der bei Verwendung in Luft nicht völlig zuverlässig war. Diese Fehler wurden aber bald vollständig beseitigt und die Verwendung des Betons im Hochbau zu Kunststein und zu vielerlei Konstruktionen, namentlich auch in Verbindung mit Eisen, eine Bauweise, die im folgenden Abschnitt besonders behandelt werden wird, hat sehr grossen Umfang angenommen und sich durchaus bewährt.

Heute wird bereits der weitaus grösste Teil des in Deutschland erzeugten Portlandcementes zu Hochbauten verwendet, und die Anwendung nimmt noch immer zu. Sehr viele stattliche Wohnhäuser sind ganz aus Stampfbeton oder Cementkunststein erbaut, und es handelt sich dabei längst nicht mehr nur um einfache, eben dem Bedürfnis genügende Bauten, sondern auch um zahlreiche Bauwerke, an denen künstlerische Kraft ihr Können eingesetzt hat, und die in Bezug auf äussere Erscheinung den Vergleich mit anderen modernen Hochbauten aus natürlichem und gebranntem Stein keineswegs zu scheuen brauchen.

Ganz ungeahnt hat sich die Verwendung des Betons für einige besondere Zwecke des Hochbaues entwickelt, so für Zwischendecken und Wände, für innere und äussere Treppen. Bei dieser Anwendungsweise überragt der Cementbeton in Bezug auf Feuersicherheit alle anderen Materialien und steht ihnen in Bezug auf Schnelligkeit der Herstellung mindestens gleich.

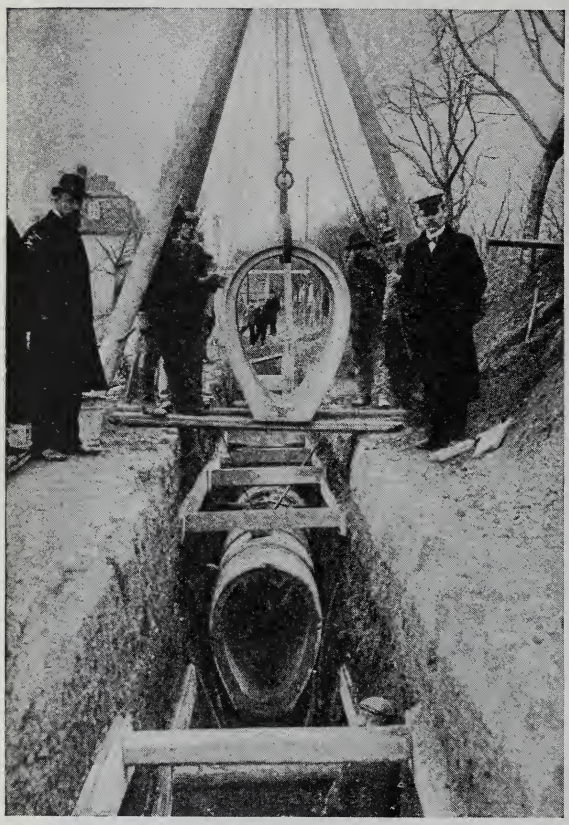
---

*) Bei dem Interesse, welches der Betonbrückenbau gegenwärtig allerseits findet, sei auf den bezüglichen Vortrag des Herrn Oberingenieur Schönbrunn, erschienen im Protokolle der Generalversammlung des deutschen Betonvereins, 1902, verwiesen.



Inneres einer Stampfbetonröhren-Fabrik.

Bei Verwendung zu Schmuckteilen an der Aussenseite der Bauten kommen die leichte Formgebung und die Möglichkeit rascher Herstellung von Cementwerkstücken in solchem Maasse zur Geltung, dass der Wettbewerb jedes anderen ebenso wetterbeständigen Materials so gut wie ausgeschlossen ist. Für alle Bauzwecke spielt ausserdem der Kostenpunkt eine so bedeutende Rolle, dass seinetwegen allein schon die Entscheidung zu Gunsten des Cementbaues ausfallen wird. Kunststein aus Portlandcement kostet heute an vielen Orten nur die Hälfte des natürlichen Steines.



Verlegung von Dampfbetonrohren, Kanalisation Merseburg.

Eine grosse Ausdehnung hat ferner die Fabrikation von Boden- und besonders Trottoirplatten gewonnen, welche durch Pressen unter starkem hydraulischen Druck hergestellt werden, namentlich aber in vielen Gegenden die Herstellung von Falzziegeln aus Cement, die, weil sie sich nicht verziehen, billig und undurchlässig sind, rasch einen grossen Markt erobert haben.

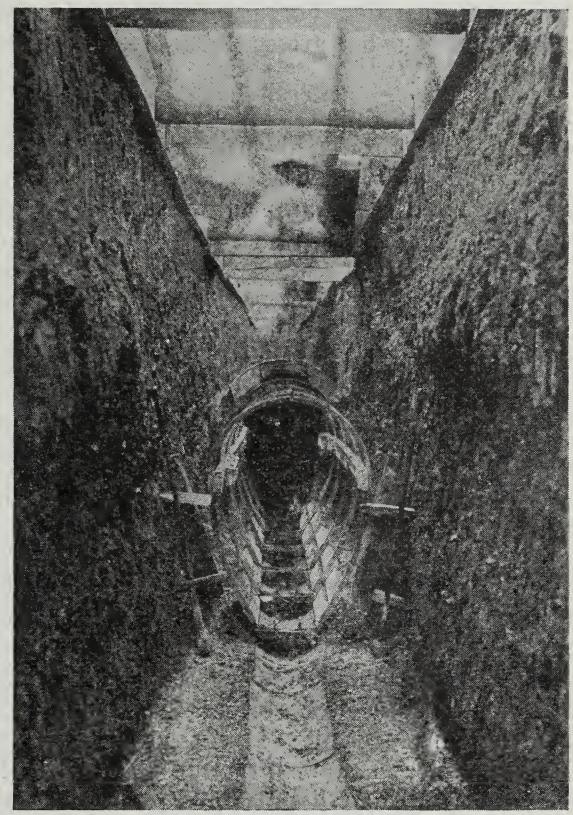
Auch dieses neue Fabrikat wurde von den konkurrierenden Thonindustriellen vergeblich als explosiv bei Feuersgefahr verdächtigt. Der in Folge grundloser Angriffe entstandene Verein deutscher Cementfalzziegel-Fabrikanten hat die Feuerbeständigkeit der Cementdachziegel durch Versuche bewiesen.

Betonbereitung und Behandlung.

Für den Erfolg eines Betonbaues, bezw. die Güte eines aus Beton hergestellten Gegenstandes, ist — gute Materialien vorausgesetzt — die Sorgfalt, welche auf Bereitung und Behandlung des Betons verwendet

wird, entscheidend. Auf die wichtigsten hierbei in Frage kommenden Punkte ist bereits im Kapitel II kurz hingewiesen worden.

Um feste Verkittung aller Bestandteile untereinander zu erzielen, müssen alle Teile, sowohl Wasser als Sand und Stein- oder Kiesmaterial rein sein. Kies, Geschiebe oder Schotter sind nötigenfalls vor der Verarbeitung zu waschen. Das Waschen des Sandes ist nicht immer von günstigem Einfluss, weil dabei die zwischen den gröberen Teilen liegenden feinen und feinsten Teile, welche auf die Dichte und Festigkeit des Mörtels von grossem Einfluss sein können, ausgeschieden werden. Sand, welcher unrein aussieht, ist nicht immer unbrauchbar, im Gegenteil können fein verteilte, an den Sandkörnern nicht festhaftende Lehmteilchen, Thon oder dergl. günstig auf die Festigkeit wirken. Den Wert eines Sandes kann man nie nach dem Aussehen beurteilen, denn die Erfahrung hat gelehrt, dass ein anscheinend sehr guter Sand eine bedeutend geringere Festigkeit haben kann, als ein weniger gut aussehender. In allen zweifelhaften Fällen ist es unbedingt erforderlich, vor der Ausführung der Betonarbeit Festigkeitsversuche vorzunehmen.*)



Kanaleinschalung in offener Baugrube, Kanalisation Merseburg.

Das Steinmaterial zu solchem Beton, bei dem es auf Festigkeit ankommt, darf in seiner Festigkeit nicht hinter derjenigen des Cement-

*) Derartige vergleichende Festigkeitsproben werden u. a. ausgeführt vom Laboratorium des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten in Karlshorst bei Berlin.

mörtels zurückbleiben. Flussgeschiebe haben immer gerundete und glatte Flächen, die für das Verkitten wenig günstig sind. Da auch die Grösse der Stücke meist einen gewissen Grad von Gleichförmigkeit aufweist, stehen Flussgeschiebe hinter Kies sowohl wie hinter Schotter aus natürlichen Steinen zurück. Im Kies, der aus Gruben oder Flussbetten gewonnen wird, pflegen alle Korngrössen und Formen vertreten zu sein, gewöhnlich liegt auch die Festigkeit der im Kies vertretenen Gesteinsarten hoch. Schotter (Steinschlag) aus natürlichen Steinen hergestellt, hat den Vorzug, frische und rauhe Bruchflächen, auch scharfe Kanten, bei grosser Mannigfaltigkeit der Formen zu besitzen.

Um der Betonmasse einen gewissen Grad von Gleichmässigkeit zu sichern, darf die Grösse der Schotter- oder Kiesstücke nicht über eine gewisse Grenze hinausgehen. Im Interesse der Dichtigkeit der Betonmasse liegt es, dass möglichst alle Korngrössen und Formen in derselben vertreten sind, weil dabei die Bildung grösserer Hohlräume möglichst verhütet wird, zu deren Füllung Mörtel notwendig ist. Der Zweck des Mörtels besteht nur darin, die einzelnen Stücke satt zu umhüllen, sodass kein Stück mit den benachbarten in unmittelbare Berührung kommt. Die dichtere Lagerung der einzelnen Stücke bringt eine bessere Verkittung und dadurch einen Festigkeitszuwachs mit sich. Zur Betonierung wird daher vorteilhaft ausser den Kiessteinen bezw. dem Schotter ein „Kiessand“ benutzt, der etwa 60 pCt. Sand bis zu 5 mm Korngrösse und 40 pCt. Kies von 5 bis 20 mm Korngrösse enthält.

Der Mörtelbedarf richtet sich nach dem Gesamt-Hohlraum zwischen den Kies-, bezw. Schotterstücken, da aber alle einzelnen Stücke mit einer dünnen Mörtelhülle umgeben sein müssen, so ist ein gewisses Mehr an Mörtel über den Gesamt-Hohlraum hinaus erforderlich, der mit der Korngrösse wechselt. Die Grösse des Cement-Anteils im Mörtel ist wieder gleich dem Gesamt-Hohlraum zwischen den Sandkörnern vermehrt um einen Zuschlag von wenigen Procenten für die satte Umhüllung der einzelnen Körner. Hinsichtlich des Wasserzusatzes zum Mörtel kommt ausser dem Einflusse, den die Grösse des Wasserzusatzes auf die Erhärtungsdauer und Festigkeit übt, der Einfluss desselben auf die Stampfbarkeit des Betons in Betracht. Wenn nicht gestampft wird, ist der feuchtere Mörtel im Vorzuge, weil er sich dichter lagert als der trockene. Wird dagegen gestampft, so ist der Wasserzusatz zu beschränken, weil man einen erdfeuchten Beton besser zusammenpressen kann, als einen feuchteren, der leichter elastisch wird und beim Stampfen ausweicht. Je dichter man aber den Beton verarbeiten kann, um so grösser wird die Festigkeit sein, da die Dichte Festigkeit bedeutet.

Die Bereitung des Betons muss auf die innigste Mischung aller Teile hinausgehen. Dies kann sowohl durch Hand- als Maschinenarbeit erreicht werden.

Bei Handmischung ist so zu verfahren, dass zunächst Cement und Sand trocken gemischt werden, bis kein reines Cementpulver mehr sichtbar bleibt; dann ist unter gleichmässiger Berieselung mit der nötigen Wassermenge nass zu mischen, so dass ein gleichmässig erdfeuchtes Gemenge entsteht. Alsdann sind die inzwischen genügend genetzten, wenn nötig gewaschenen Steine diesem Gemenge hinzuzusetzen und damit zu mischen.

Bei Herstellung von Beton ohne Steinschlag, nur aus Sand und Kiessteinen, ist keine besondere Mischung des Mörtels ohne die hinzuzusetzenden Kiessteine nötig; es genügt, Sand und Kies zunächst mit dem Cement trocken und dann nass zu mischen, so dass ein gleichmässig erdfeuchtes Betongemenge entsteht.

Bei Maschinenbetrieb wird das Gemenge ebenfalls zunächst in trockenem Zustande und dann durch allmählichen Wasserzusatz weiter gemischt, bis eine gleichmässig erdfeuchte Mischung erzielt ist. Die Mörtel- und Betonbereitung muss rasch geschehen, darf daher nicht durch längere Pausen unterbrochen werden, weil nach Berührung des Cementes mit dem Wasser bald der Abbindeprozess beginnt. Indessen darf Raschheit der Bereitung nicht auf Kosten vollkommener Mischung angestrebt werden. Die zur Betonbereitung dienenden Maschinensysteme sind bei einer gewissen Verschiedenheit doch in ihren Grundzügen nicht sehr wechselnd, wie die in der Ausstellung vorgeführten Mischmaschinen trefflich beweisen.

Bei der Verbringung des Betongemenges an die Stelle der Verarbeitung muss alles vermieden werden, was die Sonderung der gröberen Stücke von den kleineren und von dem Mörtel begünstigt. Das Betongemenge ist in der Baugrube bezw. in der Verschalung mit Schaufeln in einzelnen Schichten einzulagern. Als passende Schichthöhen gelten je nach der zu erzielenden Festigkeit des Stampfbetons 15—20 cm, und zwar sind die lose eingelegten Schichten etwa 3 cm stärker einzubringen, als die fertige Stampfschicht werden soll.

Dem Ausbreiten der Betonmasse in Schichthöhe muss das Stampfen unmittelbar folgen, doch darf es nicht unnötig lange fortgesetzt werden, weil sonst das Abbinden gestört wird und auch Entmischung der Mörtelmaterialien stattfinden kann. Diese Gefahr liegt umsomehr vor, je feuchter der Mörtel angemacht war.

Das Erscheinen von Wasser auf der gut gestampften Fläche kündet sowohl den Zeitpunkt für das Aufhören der Stampfarbeit an, als es beweist, dass der Wasserzusatz passend war.

Die Stampfer müssen der Grösse des Betonkörpers angepasst sein; am geeignetsten sind quadratische Stampfer von 16 – 18 cm Seitenlänge und einem Gewicht von etwa 15 – 17 kg. Auf das Stampfen der äusseren Teile des Betonkörpers ist besondere Sorgfalt zu verwenden, weil von den nach aussen liegenden Teilen der Masse die grösste Leistung verlangt wird. Zum Stampfen des Betons längs

der Verschalung werden daher besondere schmale rechteckige Stampfer benutzt. Die beim Stampfen ausgeübten örtlichen Drucke und die Erschütterungen bedingen eine besondere Steifigkeit der Einschalungen. Die Schalbretter müssen kräftig und in kurzen Abständen gestützt oder ausgesteift sein. Lehren und Schalungen dürfen beim Stampfen nicht merklich federn und sich nicht ausbiegen.

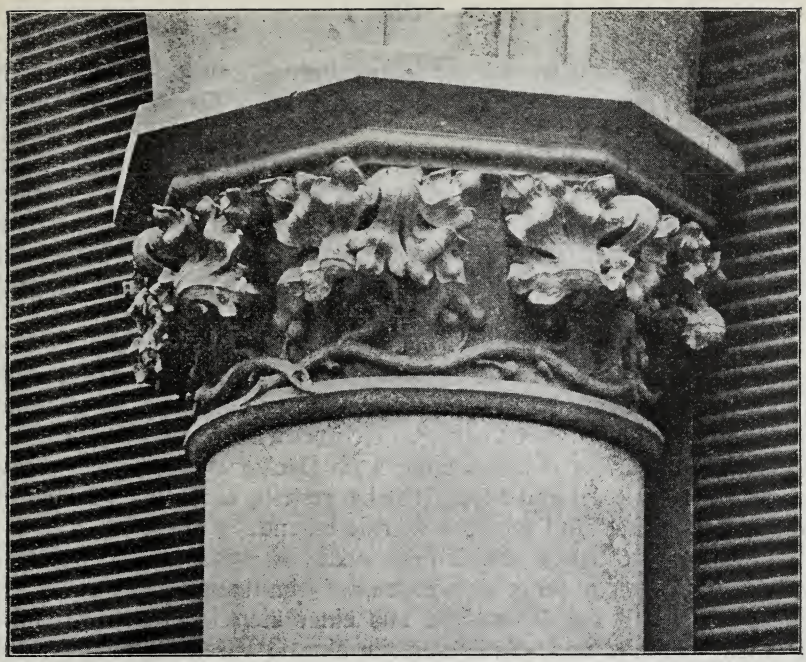
Auf die Notwendigkeit des Schutzes von Beton gegen Austrocknung durch wiederholte Befeuchtung während der ersten Wochen nach der Herstellung sei hier nur kurz hingewiesen.

Eine sachgemässe Bereitung und Behandlung des Betons ist für alle Stampfbetonarbeiten gewissermassen Lebensfrage, es hat daher auch der Deutsche Beton-Verein diese Frage von Anfang an mit in sein Programm aufgenommen. Er hat „Vorschriften über die Verarbeitung und Prüfung von Stampfbeton“ aufgestellt, welche noch in einer erweiterten Kommission beraten werden. Zu den Beratungen dieser Kommission haben in dankenswerter Weise die hohen Staatsregierungen der grösseren deutschen Bundesstaaten Abgeordnete entsandt und dadurch ihr Interesse an den Bestrebungen des Deutschen Beton-Vereins bekundet.

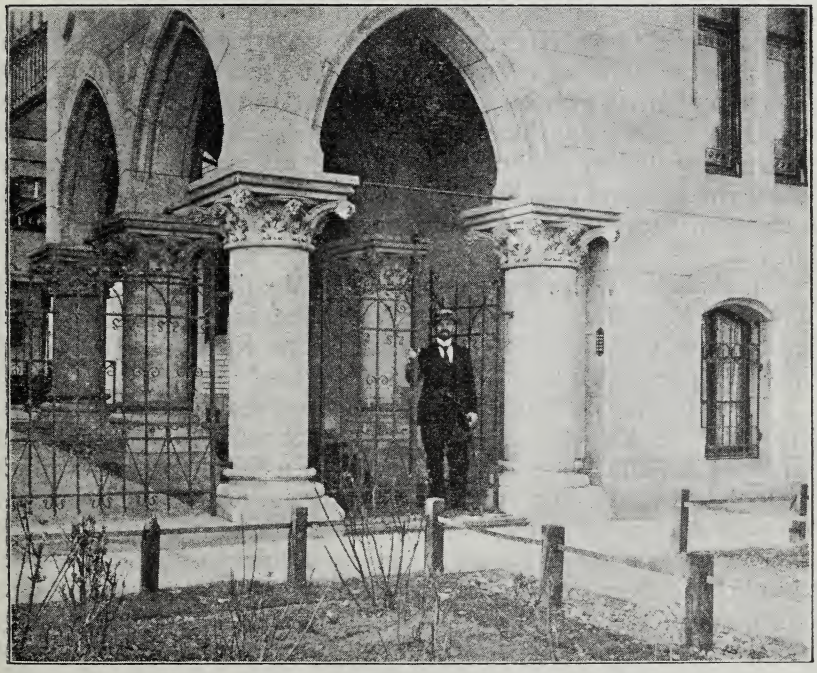
Cementwaren und Kunststeine.

Der zu Cementwaren zu benutzende Cement muss langsam bindend und der Sand von besonders guter Beschaffenheit sein. Da an die Beschaffenheit der Oberfläche von Kunststeinen besonders hohe Anforderungen gestellt werden, die sich teils auf die Dichte, teils auf das Aussehen beziehen, so ist es üblich, zu der Aussenseite von Stücken grösserer Art eine etwas andere und bessere Mischung zu benutzen, als zu dem Kern oder zur Hinterseite. Werden Farben benutzt, so müssen dieselben unempfindlich gegen Alkalien sein; nur mineralische Farben sind gebrauchsfähig. Im allgemeinen schwächen Farbenzusätze die Festigkeit, daher nimmt man nicht mehr Farbstoff zur Mischung, als unbedingt nötig ist. Um möglichst helle Färbung der Cementgegenstände zu erzielen, wählt man möglichst hellfarbige Cementmarken und benutzt Zusätze von Kalk und weissem Sand oder Marmorstaub, soweit thunlich.

Die Stücke werden gestampft oder gepresst; je mehr Pressung angewendet werden kann, desto günstiger ist dies für die Güte der Stücke. Es ist wichtig, dass die Formen möglichst unnachgiebig sind; dies ist bei eisernen Formen in höherem Grade erreichbar als bei hölzernen. Bei künstlicher Gestalt der Stücke, wie Bauornamente, Figuren usw. sind eiserne Formen zu kostspielig, meist auch nicht brauchbar. Zu solchen Teilen benutzt man daher Gips- und Leimformen, wobei man letztere mit einer Gipshülle umgiebt. In diese Formen wird der Mörtel bezw. Beton eingedrückt, bezw. eingestampft, nötigenfalls nach Brenzingers Methode unter Anwendung eines Vorgusses und späterem



Kapitäl aus Cementkunststein. Dr. Krauss in Ulm.



S äulenhalle aus Cementkunststein. Dr. Krauss in Ulm. Salzstadel.

Abwaschen mit Salzsäure, wie schon erwähnt. Dünnflüssig angemachte Stücke haben geringere Dichte und bieten keine Gewähr für Dauerhaftigkeit.

Dach- und Gehwegsplatten, Terrazzoplatten, Fliesen und ähnliche Teile werden entweder mit der Hand in eiserne Formen geschlagen oder in eisernen Formen durch Pressen hergestellt. Diese Gegenstände sind scharfen Beanspruchuugen unterworfen. Daher darf man sich auch bei Beschaffung solcher Sachen nur an bewährte Fabriken halten.

Dachplatten aus Cement, entweder auf beiden Seiten ganz eben wie Schiefertafeln, oder mit Leisten und Nuthen auf der Rückseite, ähnlich den Falzziegeln oder den Dachpfannen, besitzen der gebrannten Ware gegenüber den Vorzug gleichbleibender Form, welche die Wasserdichtigkeit der damit eingedeckten Dächer erhöht. Sie werden sowohl in der Naturfarbe als gefärbt hergestellt, sind von geringerem Gewicht als Ziegel und schlecht Wärme leitend.

Gehwegsplatten aus Cement bedürfen besonderer Sorgfalt in Auswahl und Behandlung, sie werden auf Abnutzung beansprucht und müssen daher an der Oberfläche aus einer ziemlich fetten Mischung bestehen, während nach der Unterseite hin die Mischung magerer sein kann. Die Oberfläche wird entweder glatt gerieben oder geklopft, bezw. mit Walzen geriffelt. Die Plattengrösse nimmt man nicht leicht unter 20 und über 80 cm Seitenlänge bei 4 – 8 cm Dicke.

Farbige Cementfliesen und zwar: einfarbige, gemusterte, Terrazzo-, marmorierte oder Mosaik-Fliesen in grober und feiner Ware, werden in eisernen Formen mittelst des Druckes hydraulischer Pressen hergestellt. Zuweilen findet besondere Behandlung der sichtbaren Flächen statt, indem man durch Tränkung mit gewissen Stoffen den Farben eine grössere Leuchtkraft verschafft, oder den Schall der Fliesen zu dämpfen sucht oder die Oberfläche durch Schleifen und Polieren ebnet.

In ähnlicher Weise wie Terrazzo- oder Mosaikfliesen werden auch Füllungen, Medaillons und ähnliche Teile hergestellt; in der Art der marmorierten Fliesen auch Tischplatten, Vasen, Kamin-Verkleidungen, feinere Treppenstufen und viele andere Gegenstände.

Kunststein zu Hochbauten wird entweder in der Form der Verblender des Ziegelbaues oder mit Nachahmung von rechteckigen Teilungen in Platten oder in wirklichen vollen Quadern, oder endlich in Hohlplatten, die zur Ausfüllung von eisernem oder hölzernem Fachwerk dienen, hergestellt. Die Hohlformstücke haben den Vorzug rascherer Erhärtung, Verbrauch geringerer Mörtelmassen und leichter Beweglichkeit beim Verbauen. Als Hohlformen im weiteren Sinne können auch die sog. Cementdielen bezeichnet werden, plattenartige Stücke, die auf einer oder beiden Seiten wabenartige oder im Inneren cylindrische Aussparrungen zwischen Stegen zeigen. Sie werden sowohl

eben als in gebogener Form hergestellt und haben bei relativ hoher Tragfähigkeit nur geringes Gewicht. Oft erhalten die Cementdielen dünne Eiseneinlagen.

Eine ausserordentlich grosse Bedeutung haben die Cementfabrikate auf dem Gebiete der Kanalisation der Städte gewonnen und man darf wohl die Herstellung der Kanalisationsartikel als den hervorragendsten Zweig der Cementwaren-Fabrikation bezeichnen. Es werden runde und eiförmige Rohre von den kleinsten bis zu den grössten Profilen, Schachtringe, Sinkkasten, Sohlsteine, Einlassstücke für gemauerte Kanäle, Stirnstücke für Rohrdurchlässe u.s.w. hergestellt. Die Rohre sind entweder dickwandig oder dünnwandig und in letzterem Falle mit Eiseneinlagen versehen. Die dickwandigen Rohre werden durch kurzen Halbfalz verbunden, die dünnwandigen teils durch Muffen verbunden, teils stumpf aneinandergestossen und mit übergeschobener Muffe versehen.

Die wertvollste Eigenschaft der Rohre und Kanäle aus Beton (im Gegensatz zu Thonröhren) besteht darin, dass sie in jeder Profilform und Grösse herstellbar sind und sehr genaue Form haben. Das gilt sowohl für die fabrikationsmässige Erzeugung, als für die Herstellung in der Baugrube, jedoch hat die erstere insofern einen Vorzug, als dadurch eine bessere Ware gewährleistet werden kann, als bei Herstellung in der Baugrube, die mancherlei Zufälligkeiten ausgesetzt ist.

In neuerer Zeit hat man die Cementrohre gegen den Einfluss säurehaltiger Abwässer und gegen Geschiebe durch Thonschalen oder Thonplatten, die in die Sohle eingelegt werden, widerstandsfähiger gemacht. Hierdurch sind die Vorteile der Cementrohre mit denjenigen der Thonrohre vereinigt. Gegen den Einfluss säurehaltiger Abwässer wurden in neuester Zeit auch Rohre mit Asphaltfutter hergestellt.

Einen bedeutenden Umfang hat in neuester Zeit auch die Verwendung von besonderen Formstücken aus Beton zu Kabelkanälen für unterirdische Telephonleitungen in grossen Städten angenommen.

Aus der grossen Reihe von Gegenständen der Cementwaren-Fabrikation seien schliesslich noch erwähnt: Pflanzenkübel, Badewannen, Spülsteine, Rinnenstücke, Viehkrippen, Prellsteine, Saumschwellen, Sockelsteine, Fasslagersteine, Sockel und Mauerabdeckungen, Schornsteinrohre und Abdeckplatten, Springbrunnenbecken, Ummantelungen eiserner Säulen zum Zweck des Feuerschutzes. Von Schmucksachen seien angeführt: Pfeilerbekrönungen, Konsolen, Gesimsstücke, Fenster- und Thürumrahmungen, Füllungen, Medaillons, Statuen, Büsten, Tierfiguren und Aehnliches.

Eigenschaften des Betons.

Wie man aus den vorstehenden Ausführungen ersieht, lässt sich Beton fast in jede gewollte, regelmässige oder unregelmässige Form bringen, so dass seine Formungsfähigkeit über diejenige von

Mauerwerk weit hinausgeht. Bei Schüttungen unter Wasser nimmt der Beton gewisse gröbere Formen, wie sie dem Bedürfnisse solcher Fälle genügen können, selbstthätig, d. h. allein unter Wirkung der Schwere an. Bei Betonierungen über Wasser kann die Herstellung einer bestimmten Form mit geringeren Mitteln bewirkt werden, als bei Stein, indem mit der Schaffung der die Form begrenzenden festen Hülle (Schalung) ferner mit dem Verteilen der Betonmasse in der Schalung und dem Stampfen der Masse alles gethan ist, während bei Ausführung in Natursteinen meist ein schwieriger Bearbeitungsprozess, bei künstlichem Stein ein kostspieliger Brennprozess erforderlich ist.

Beton erhärtet in kurzer Zeit soweit, um gegen mässigen Wasserdruck wie auch gegen spülende Wirkungen des Wassers ausreichend widerstandsfähig zu sein. Bei dem raschen Fortschreiten der Erhärtung und der Zunahme der Festigkeit wird die Widerstandsfähigkeit gegen Wasserdruck in kurzer Zeit verhältnismässig gross. Mit dem Erhärtungsvorgange des Betons sind infolge chemischer Vorgänge minimale Raum-Veränderungen verbunden. Ferner untersteht der Beton dem allgemeinen physikalischen Gesetze, bei Wärme sich auszudehnen und bei Kälte seinen Rauminhalt zu vermindern; bei Feuchtigkeit findet Ausdehnung, bei Trockenheit Schwinden statt. Ueber die Grösse dieser Veränderungen sind Untersuchungen bisher nur spärlich angestellt. Allgemein steht nur fest, dass alle Cemente beim Erhärten in Wasser sich ausdehnen und beim Erhärten an der Luft schwinden, sowie dass diese Raumveränderungen im Anfang, d. h. zu der Zeit, wo die Festigkeitszunahme am grössten ist, ebenfalls am grössten sind. Durch Zusatz von Sand (Magerung des Mörtels) wird die Raumveränderung erheblich verringert. Sie ist um so grösser, je dichter der Beton ist und umgekehrt. Mit der Dichte wächst aber die Festigkeit. Darnach ist es zu empfehlen, die Anforderungen an die Festigkeit von Beton nicht unnötig weit zu treiben, sondern sich mit der im Einzelfalle geforderten Festigkeit zu begnügen, unter Umständen die Dichtigkeit durch Auftragen eines dichten Verputzes auf die Aussenflächen der porösen Masse des Betonkörpers zu erzielen.

Für die durch den gewöhnlichen Temperatur- und Feuchtigkeits-Wechsel bedingten unvermeidlichen Raumänderungen muss ebenso wie bei Mauerwerks-, Holz- und Eisenkonstruktionen in der konstruktiven Durchbildung der nötige Raum geschaffen werden. Dies geschieht teils durch Wahl entsprechender Formen, teils durch Teilung der Baumassen, durch Einlegen von elastischen Fugen oder nachträgliche Herstellung von Einschnitten.

Hinsichtlich der Wahl zweckmässiger Formen von Betonbauten muss beachtet werden, dass die Zugfestigkeit des Cementmörtels im Vergleich zur Druckfestigkeit klein ist. Es wird sich hiernach sowohl aus Rücksichten der Oekonomie als auch zur Vermeidung von Rissen und Sprüngen empfehlen, die Formen eines Betonbaues so zu wählen,

Treppe aus Kunstgranit im Bureaugebäude des Schalker Gruben- und Hütten-Vereins.

dass in demselben möglichst nur Druckspannungen und keine oder nur geringe Zugspannungen vorkommen, oder die Zugspannungen durch Eiseneinlagen aufgenommen werden. Aus diesem Bedürfnis heraus ist in neuester Zeit der Beton-Eisenbau entstanden.

Vielfach werden kleine, in der Oberfläche von Cementwaren erkennbare Risse (Haarrisse) ohne Grund als bedenkliche Erscheinungen angesehen, weil der Unkundige annimmt, dass sie sich bis zu grösserer Tiefe in die Masse hinein fortsetzen. Die sogenannten Schwindrisse verbleiben jedoch in der oberen Schicht. Sie zeigen sich immer, wenn diese Schicht aus zu fettem Mörtel besteht und dem Wechsel der Witterung ausgesetzt ist. Die Annahme, dass Mauerwerk ohne deutlich erkennbare Risse von solchen frei sei, ist ein Irrtum. Mauerwerksflächen sind stets mehr oder weniger durch feine Risse geteilt, sie sind nur weniger leicht erkennbar.

Erhärteter Cementmörtel und Beton ist elastisch; doch ist zwischen Druck- und Zug-Elastizität zu unterscheiden.

Ueber Versuche zur Bestimmung der Zug-Elastizität ist wenig bekannt geworden. Untersuchungen über Druck-Elastizität, welcher bei der ganz überwiegenden Beanspruchung des Betons auf Druck die grösste Bedeutung zukommt, sind von Hartig, Bauschinger und neuerdings auch von Bach ausgeführt. Letzterer hat durch seine Versuche den Nachweis erbracht, dass das früher als allgemein giltig angenommene Gesetz, dass Dehnungen im geraden Verhältnis zu der verursachenden Kraft stehen, für die von ihm untersuchten Materialien, also auch für Cementmörtel und Beton, innerhalb gewisser Grenzen unzutreffend ist. Er ermittelte, dass die Dehnung in höherem Masse wächst, als die verursachende Kraft, oder mit anderen Worten, dass der grösseren Dehnung eine geringere Spannung entspricht, als der kleineren. Für niedrige Druckspannungen hat man also mit einer geringeren Dehnungsziffer, also höherer Elastizitätszahl, zu rechnen, als für hohe Druckspannungen. Als Mittelwerte der Elastizitätszahlen für guten Beton werden gewöhnlich 200 000 kg/qcm für niedrige und 100 000 kg/qcm für hohe Spannungen angenommen Es bedarf indes noch weiterer Versuche, um über alle bei der Elastizität auftretenden Fragen Klarheit zu schaffen.

Die Zug- und Druckfestigkeiten des Betons sind so verschiedenartig und hängen so sehr von den verwendeten Materialien, dem Mischungsverhältnis und der Verarbeitung des Betons ab, dass allgemein giltige Zahlen nicht gegeben werden können; es sei nur bemerkt, dass bei einer Anzahl grösserer Brückenbauten Druckspannungen im Beton von über 40 kg/qcm vorkommen.

Ueber Zugfestigkeit und Biegungsfestigkeit von Beton sind Versuche bisher nur spärlich ausgeführt, im allgemeinen kann man die Zugfestigkeit etwa mit derjenigen des Mörtels übereinstimmend an-

Katholische Kirche in Caternburg.
Ausgeführt in Cementkunststein.

nehmen, wenn Kies- und Steinschlag nicht mehr als höchstens das Zweieinhalbfache des Sandes beträgt.

In Betreff des Verhaltens des Betons gegen hohe Temperaturen ist zu bemerken, dass bei Cementmörtel und Beton, um denselben feuersicher zu machen, nur dasselbe Mittel anzuwenden ist, durch welches man ihn rissfrei macht, nämlich ausreichender Sandzusatz. Dass dieses Mittel seine Dienste unter allen Umständen thut, wird durch Erfahrungen bei Fabrikschornsteinen, ferner bei wirklichen Brandfällen und endlich durch eine Anzahl von Versuchsbränden, die in den letzten Jahren angestellt worden sind, zweifelsfrei erwiesen.

Portland-Cementmörtel und Beton sind als feuersicher anzusehen, vorausgesetzt, dass Sand und Kies aus Quarz oder ähnlichem Material, nicht aber aus Kalkstein bestehen.

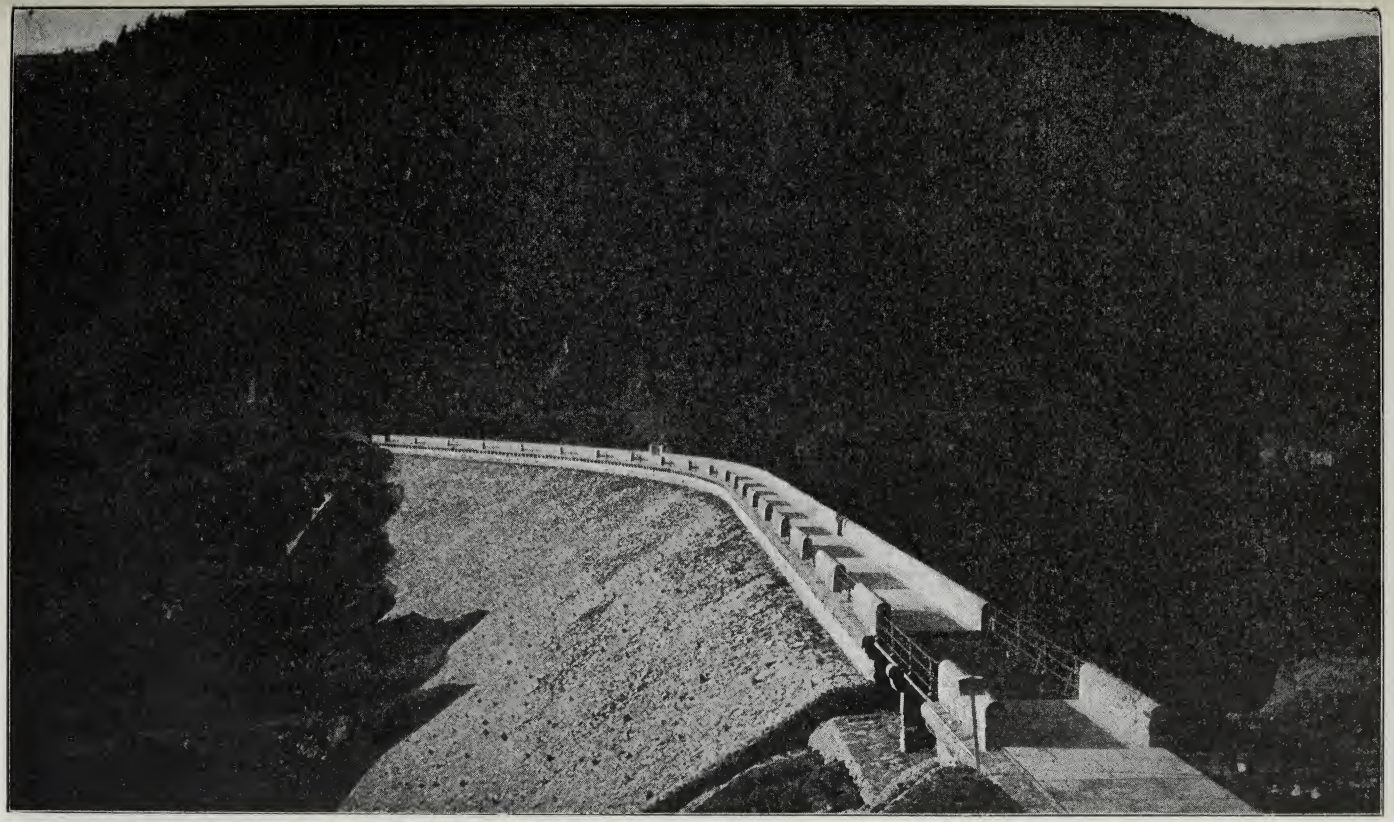
Anwendung von Beton.

Die vorbeschriebenen Eigenschaften des Betons haben in den letzten 10 Jahren das Gebiet, auf welchem der Beton mit anderen Ausführungsweisen in Wettbewerb tritt, sehr bedeutend vergrössert. Die Gründe, welche den Ausschlag zu Gunsten des Betonbaues geben, können ausser in besonderen Eigenschaften, im Kostenpunkt, in der Zeitdauer der Herstellung, in der Oertlichkeit liegen.

Wenn nur Sand, Kies, Geschiebe, Schlottermaterial einigermassen nahe zur Stelle sind, wird der Betonbau meist viel billiger ausfallen, wie irgend eine andere Bauweise. Hinsichtlich der Zeitdauer wird der Betonbau fast immer im Vorzuge vor Mauerwerk sein. Die Beschaffung und Lieferung der Rohmaterialien ist weniger umständlich, als die der Materialien für Mauerwerk, es kann in ausgiebigster Weise von Maschinenarbeit Gebrauch gemacht werden, so dass sich die Wahl fast überall da auf Betonbau lenken wird, wo es sich um grosse Ausführungen handelt, die in relativ kurzer Zeit bewältigt werden sollen.

Besonders eignet sich Beton zu gewissen Zwecken wegen seiner leichten Formungsfähigkeit und wegen der Möglichkeit, seine Mischungsverhältnisse und die zu gebenden Abmessungen dem Zwecke des Werkes möglichst eng anzupassen. Diese Eigenschaften gelangen zur Geltung z. B. bei Wasserbehältern und Gasbehälter-Becken, bei welchen Bauwerken deshalb der Beton in neuerer Zeit auch besonders häufig gewählt wird. Die beigegebenen Bilder stellen mehrere derartige Bauausführungen dar. Manche Arbeiten, wie Quellenfassungen etc. wären ohne raschbindenden Cement kaum ausführbar.

Gut eignet sich Beton ferner zu Gründungen für Hochbauzwecke, wenn der Baugrund mangelhaft ist und die Belastung desselben sich ungleichmässig auf die Fundamentsohle verteilt. Vorzüglich geeignet ist er auch für Treppen- und Decken-Konstruktionen; Feuersicherheit, Trockenheit und gesundheitliche Vorzüge sind die Gründe, welche den



Stauweiher im Alfeld i. d. Vogesen. Im Betrieb seit 1888.

Inhalt 1 100 000 cbm Wasser. Länge der Staumauer 255 m, grösste Höhe der Mauer 28 m, Stauhöhe 22 m. Ausführung in Cyklopenmauerwerk mit Cementmörtel.

Betondecken auch in dem feineren Wohnhausbau Eingang, ja eine weitgehende Ausbreitung verschafft haben. Auch hierfür bieten die Bilder Beispiele.

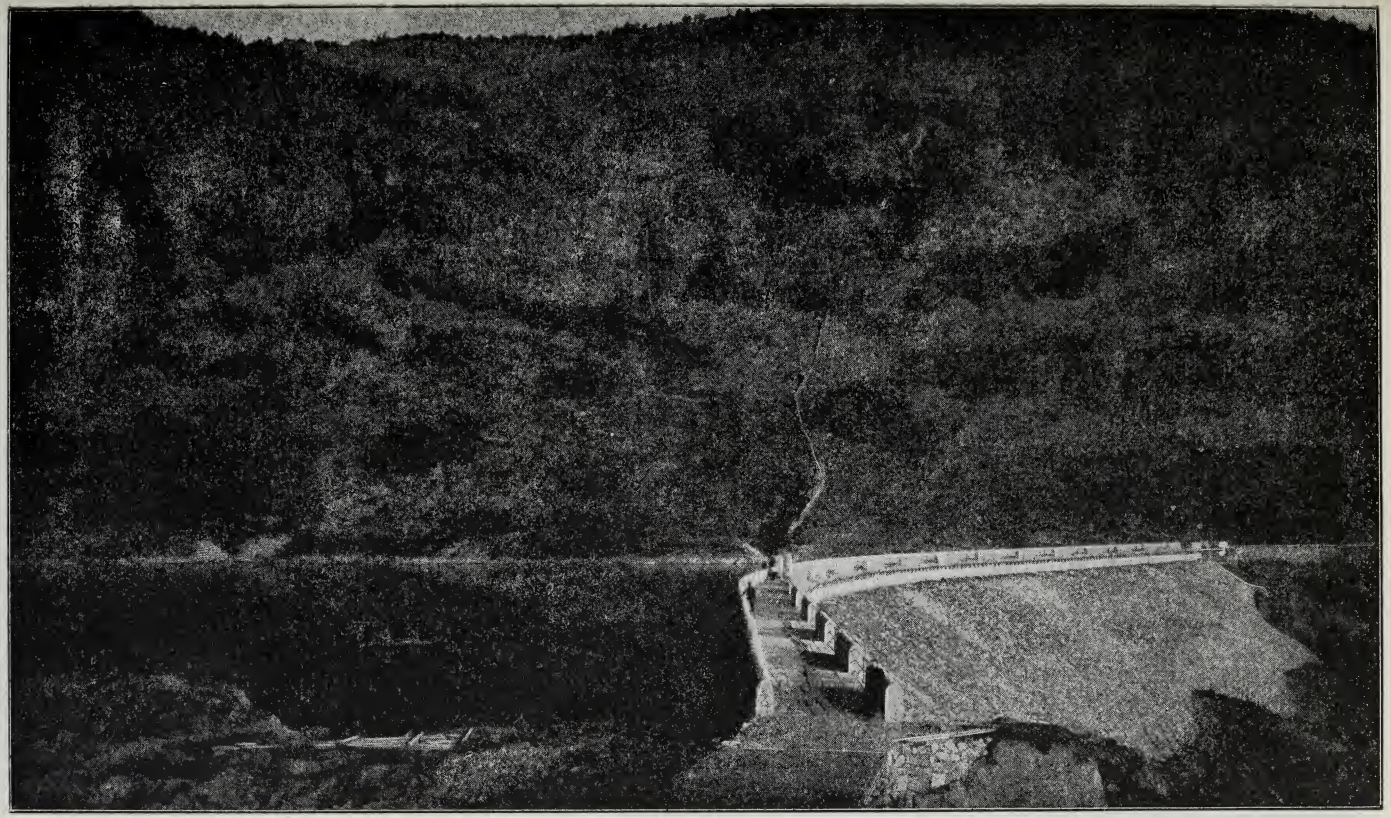
Die Schwierigkeiten, welche die Herstellung schiefer Brücken oder auch solcher, die in Kurven liegen, in Werkstein oder Ziegelmauerwerk mit sich bringt, sind es, wie man annehmen darf, insbesondere gewesen, welche dem Beton das Gebiet des Brückenbaues zunächst erschlossen haben. Seit aber vor etwa 20 Jahren in Deutschland die ersten Fälle der Ausführungen von Brücken in Betonbau bekannt geworden, sind solche Brücken in immer steigender Zahl und immer kühner gewordenen Verhältnissen erbaut worden, und es darf nach den sehr günstigen Erfolgen, welche dabei bezüglich Solidität, Kosten und Kürze der Bauzeit erzielt worden sind, erwartet werden, dass im Brückenbau der Beton sich dauernd ein grosses Verwendungsgebiet erobert hat und ein noch grösseres erobern wird. Einige der bekanntesten Brücken sind abgebildet.

Die Verwendungszwecke des Cementmörtels bezw. Betons im Bauwesen sind heute bereits so vielseitig, dass es zu weit führen würde, sie alle hier aufzuzählen, es mögen daher nur noch einige besondere Verwendungsweisen hier kurz angeführt werden, bei welchen Cementmörtel bezw. Beton unersetzbar ist. Hierzu gehören Quellendichtungen und Dichtung von Mauern und Fussböden, die ins Grundwasser hinabreichen; Maschinenfundamente, welche dynamisch wirkende Beanspruchungen aufzunehmen haben und daher Massen verlangen, welche auf keine andere Weise einteilig herstellbar sind, Seebauten, Festungsbauten usw. Im Strassenbau ist der Verwendung des Beton zu Fusswegen sowie zu Unterbettungen von Asphalt- und Holzpflaster neuerdings diejenige von Cement-Macadam hinzugetreten.

Ganz besonders muss schliesslich noch die Verwendung von Cement zum Bau von Thalsperren hervorgehoben werden, die in neuerer Zeit in immer grösserem Massstabe zur Hebung der Industrie ganzer Landstriche und zur Bewässerung von Städten und Landgemeinden erbaut werden. Zwei umfangreiche Bauwerke dieser Art sind in Abbildungen beigefügt.

Früher bestand vielfach eine gewisse Abneigung gegen die Trocken-Betonierung, weil man gute Erhärtung des Betons nur unter Wasser für möglich hielt. Man war der Ansicht, dass sowohl zur gleichförmigen Mischung der Materialien als zur guten Erhärtung möglichst nasser Mörtel und längeres Verbleiben des frisch geschütteten Betons im Wasser erforderlich sei. Heute weiss man, dass ein Ueberschuss von Wasser der Festigkeit des Mörtels schadet, und sie unter Umständen aufheben kann.

Bei der Trockenbetonierung kommen die von der Nassbetonierung untrennbaren Schüttungsschwierigkeiten nebst der Gefahr der Entmischung des Betons in Fortfall. Da die Schüttung vor Augen

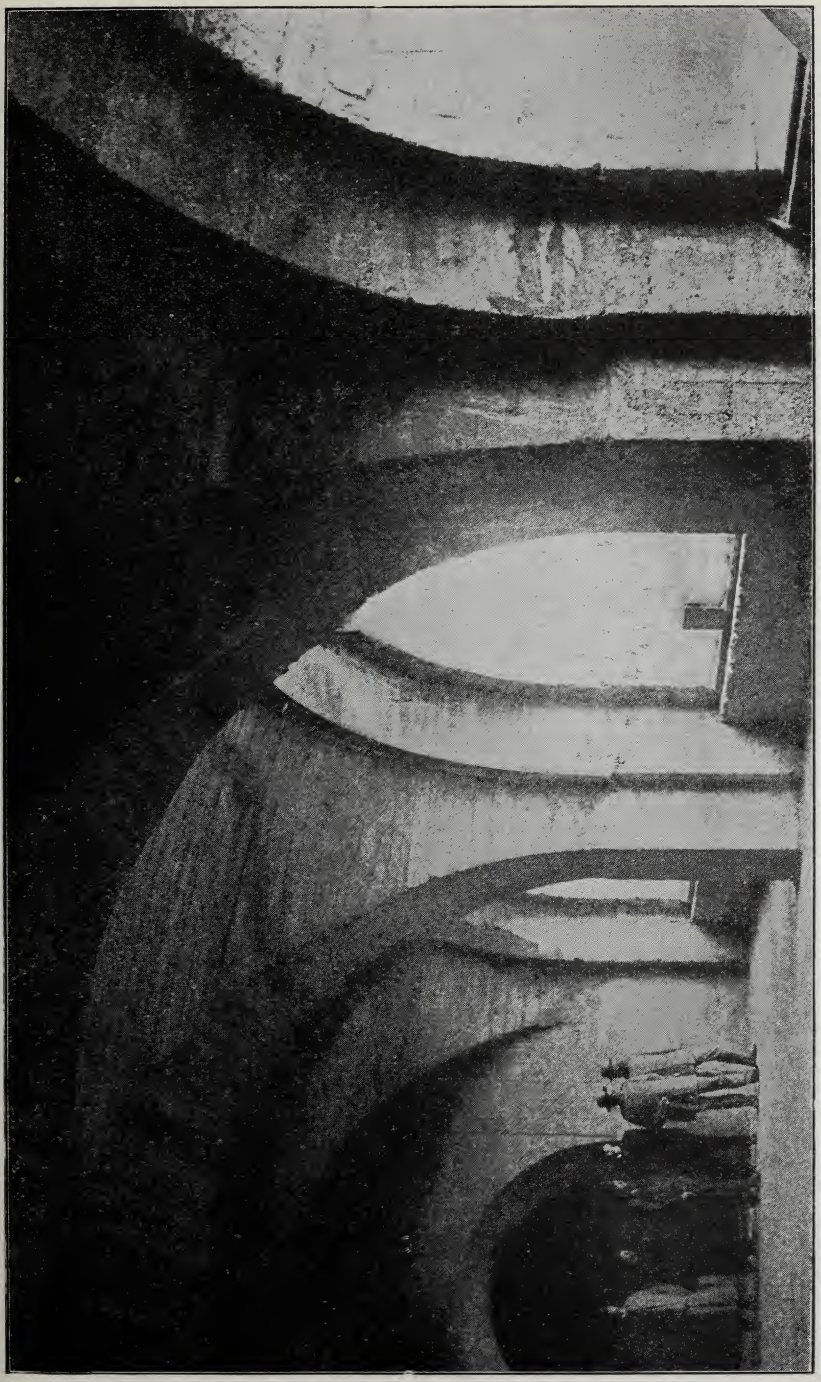


Stauweiher Altenweiher im oberen Fechthal (Vogesen). Im Betrieb seit 1891.
Inhalt 725 000 cbm Wasser. Länge der Staumauer 113 m, Stauhöhe 14 m. Ausführung in Cyklopenmauerwerk mit Cementkalkmörtel.

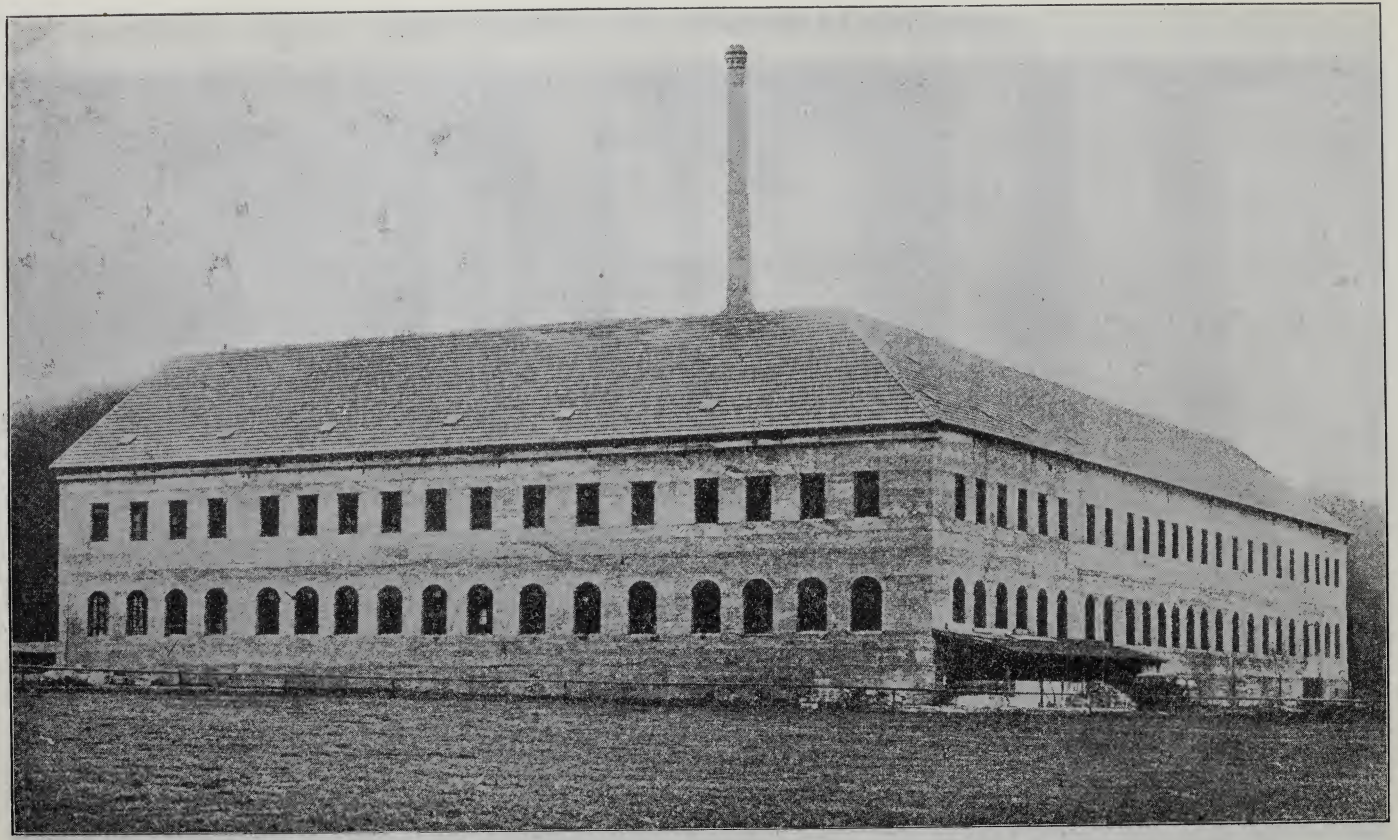
liegt, kann sie fortwährend beobachtet werden, der zu frühe Zutritt von Wasser kann verhindert und derjenige Zustand eingehalten werden, welcher der Erhärtung des Betons am dienlichsten ist; endlich auch ist die Möglichkeit vorhanden, die Beschaffenheit des Betons durch Zuhülfenahme von Stampfen zu verbessern. Ausreichende gleichmässige Feuchthaltung bis zu genügend erfolgter Erhärtung ist natürlich Bedingung.

Mit etwas höherem Wasserzusatz muss man arbeiten, wenn man grössere Steine in den Beton einpacken will, ein Verfahren, welches viele Vorteile bietet und bei massigen Konstruktionen in neuerer Zeit vielfach angewandt wird. Der Beton muss dabei soviel Feuchtigkeit enthalten, dass er unter der Last der eingepackten Steine beweglich, plastisch wird. Mit höherem Wasserzusatz muss auch der Beton behandelt werden, der Eiseneinlagen erhalten soll, damit der geschmeidige Mörtel sich dem Eisen gut anschmiegt. Diese Bauweise wird in einem besonderen Kapitel behandelt.

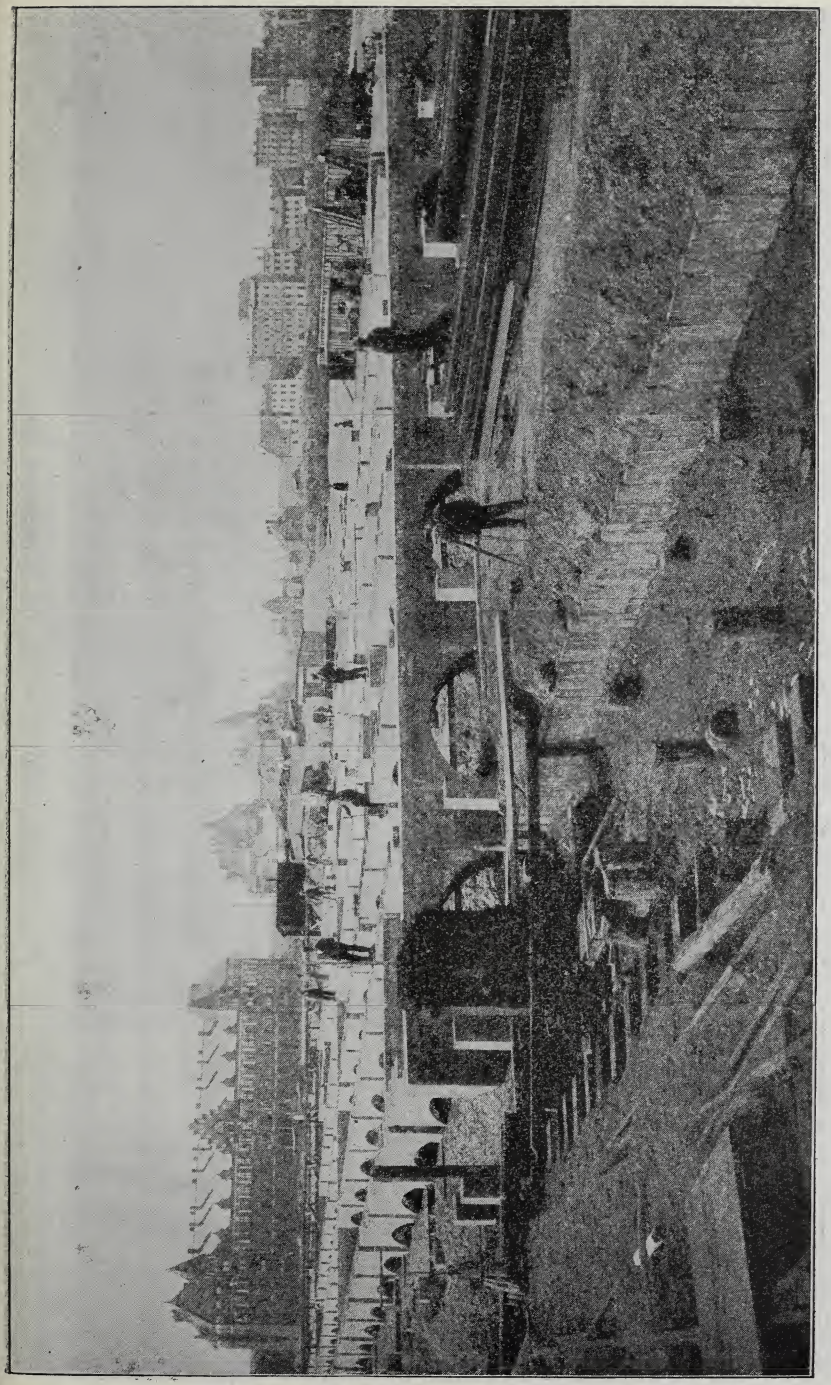
Wohnhaus in Ulm mit Fassade aus künstlichen Steinen.



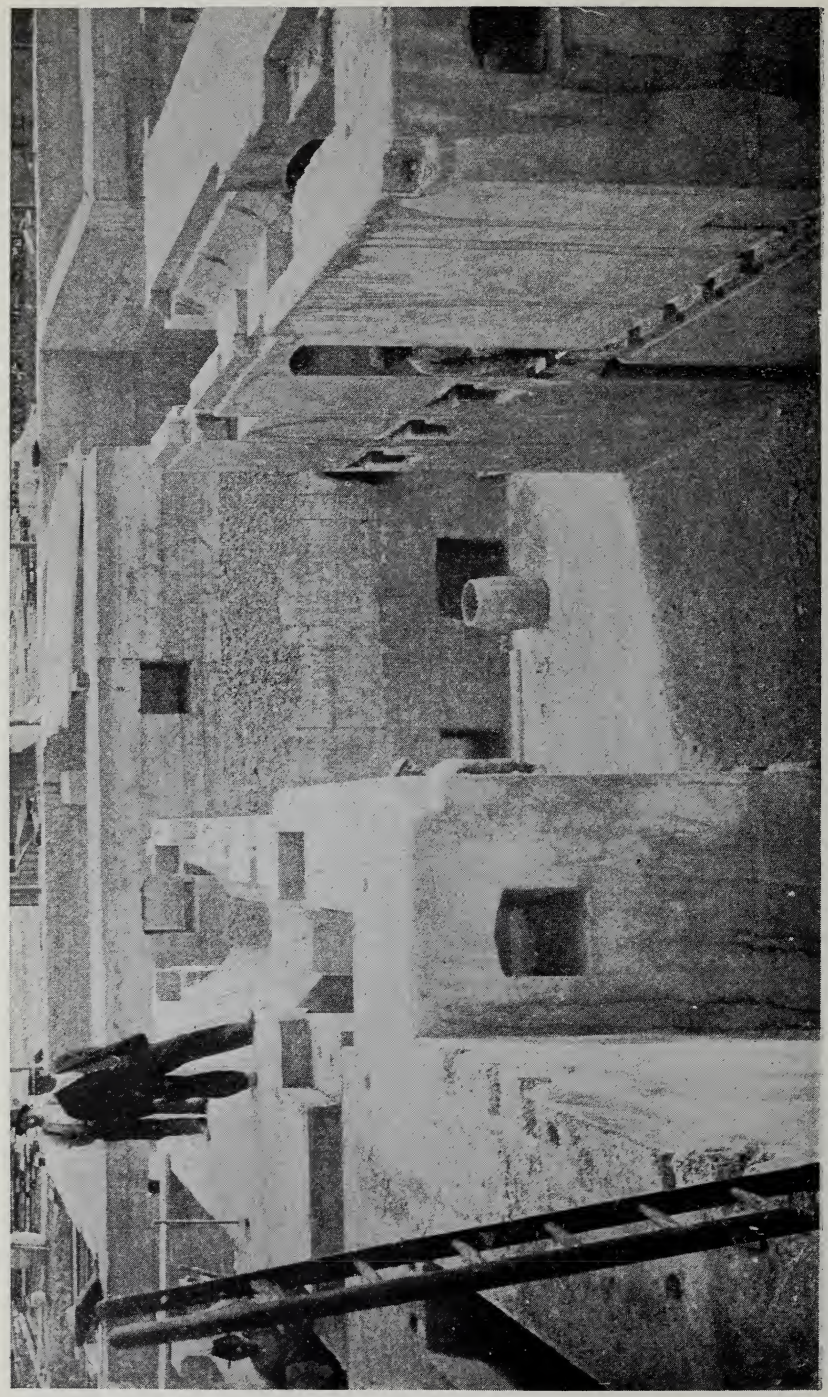
Halle aus Beton auf dem Drachenfels bei Königswinter.



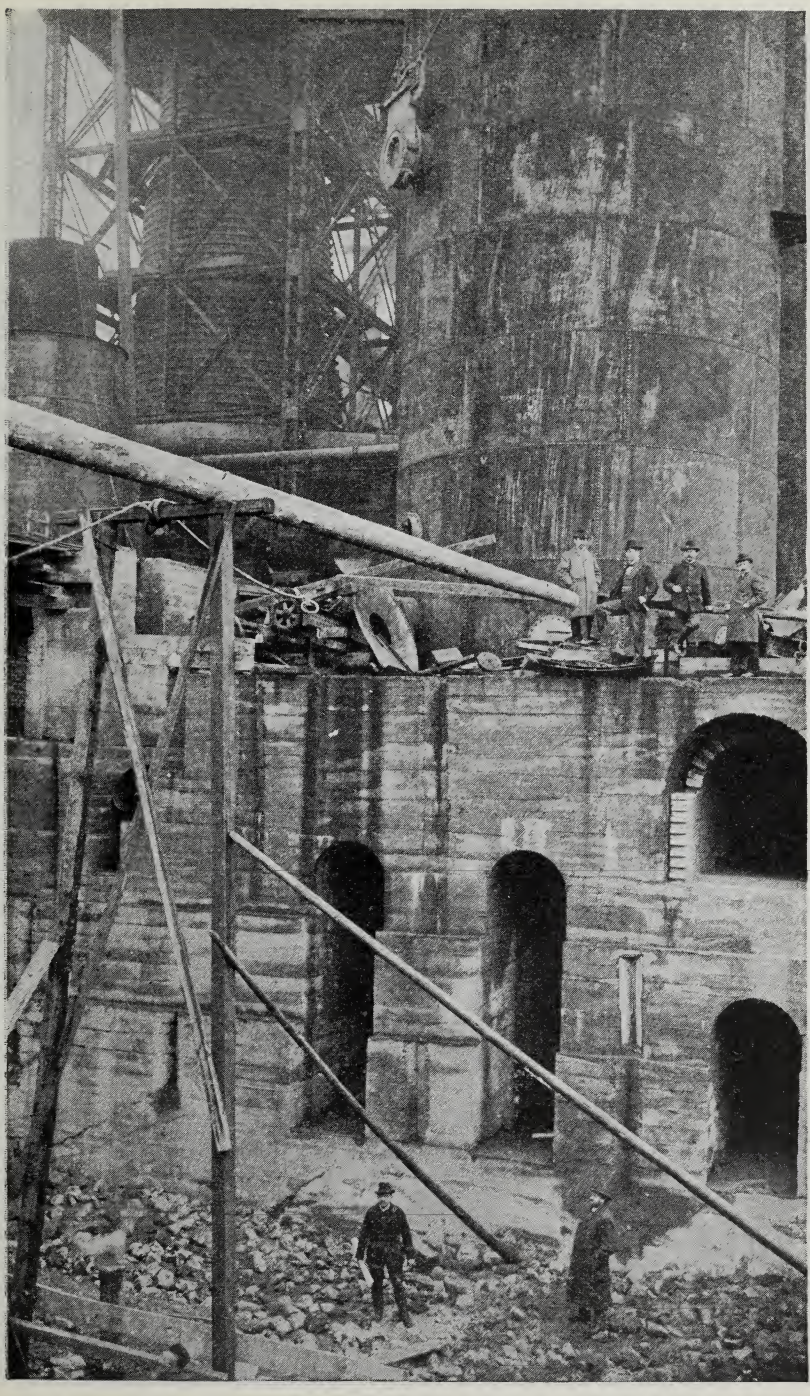
Lederfabrik Karl Ernst, Marbach a. Neckar 1896/97.
Ausschliesslich Betonbau. 550 000 kg verwendeter Portland-Cement.



Fundierung zweier Quaischuppen, Freihafen Stettin.

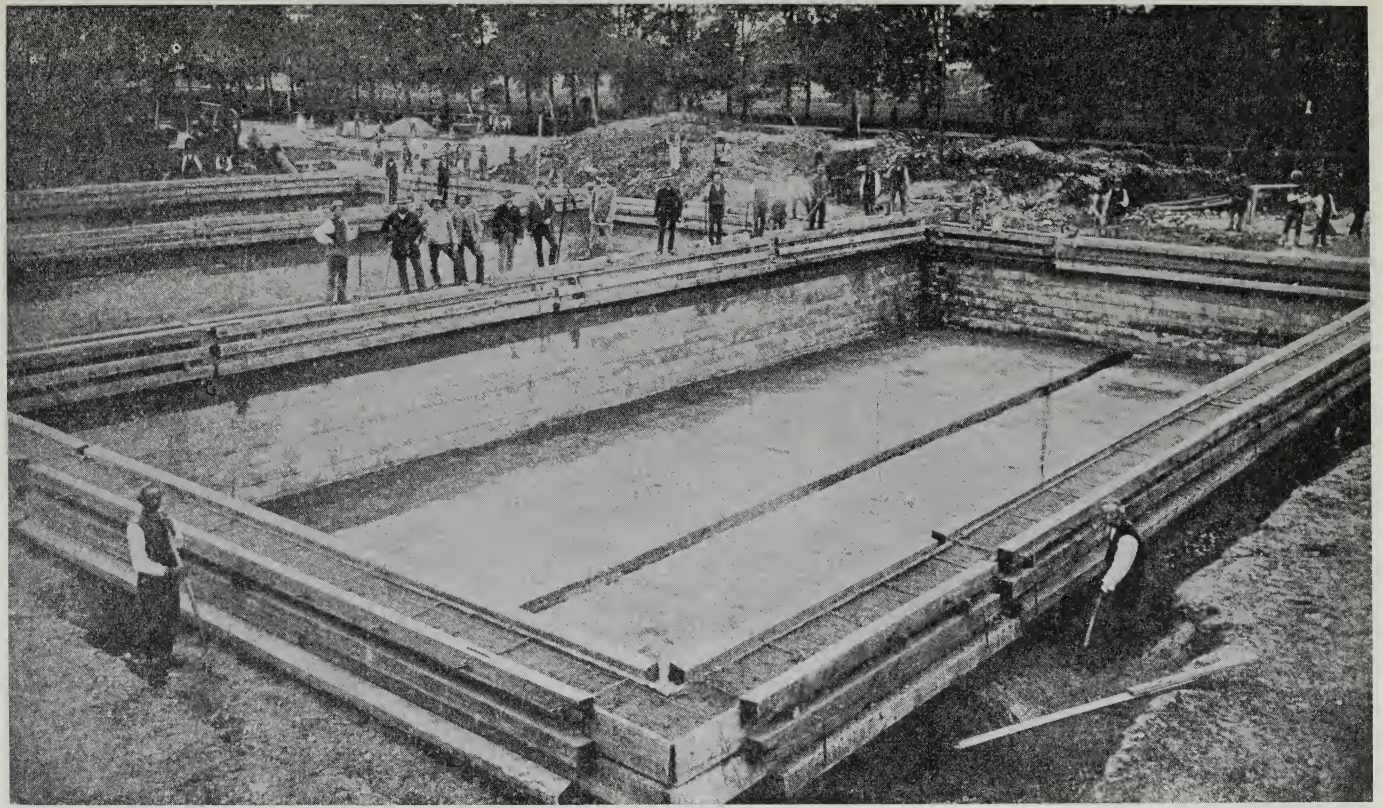


Bau der Maschinenfundamente im Wasserwerk Bonn.

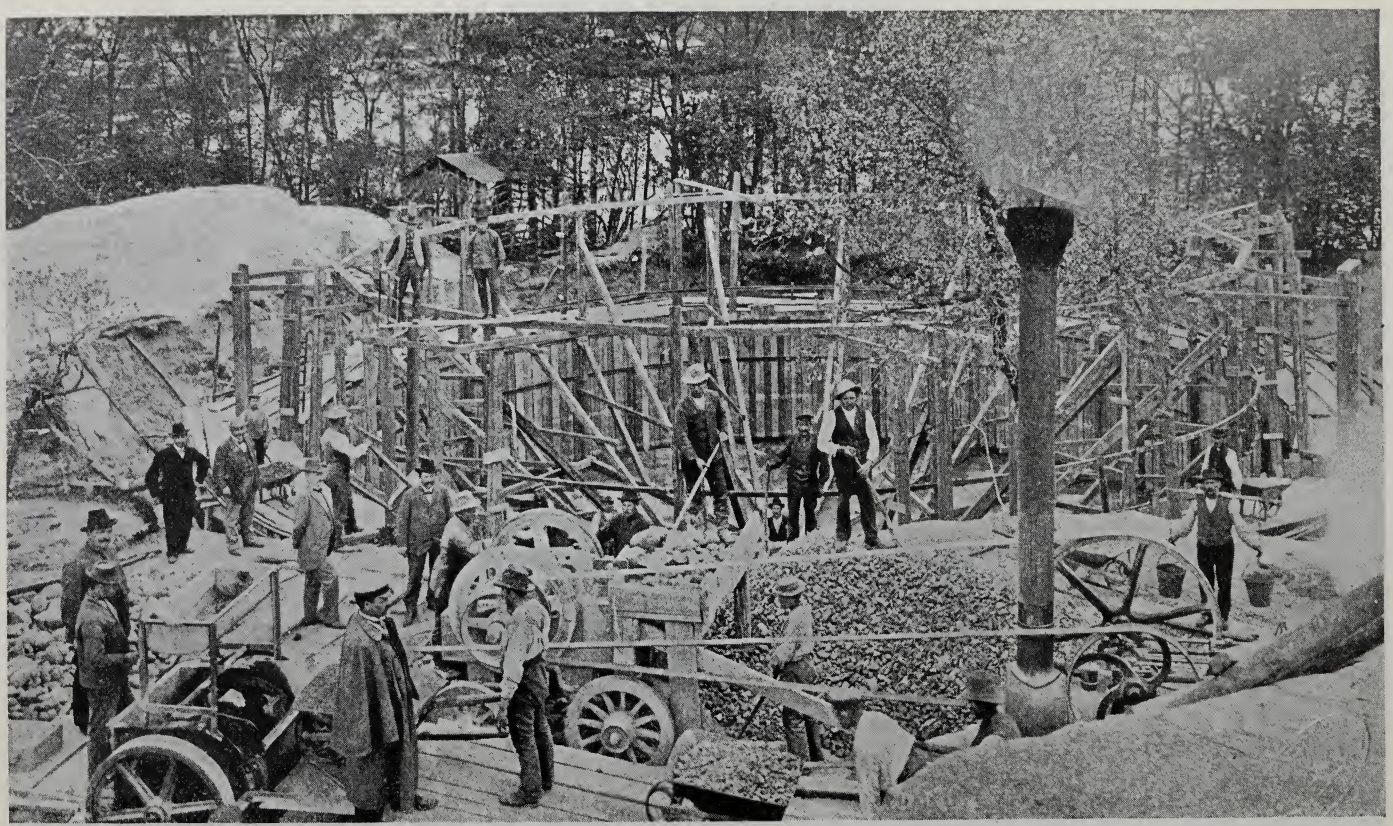


Fundamente für das Hüttenwerk Phönix, Ruhrort.

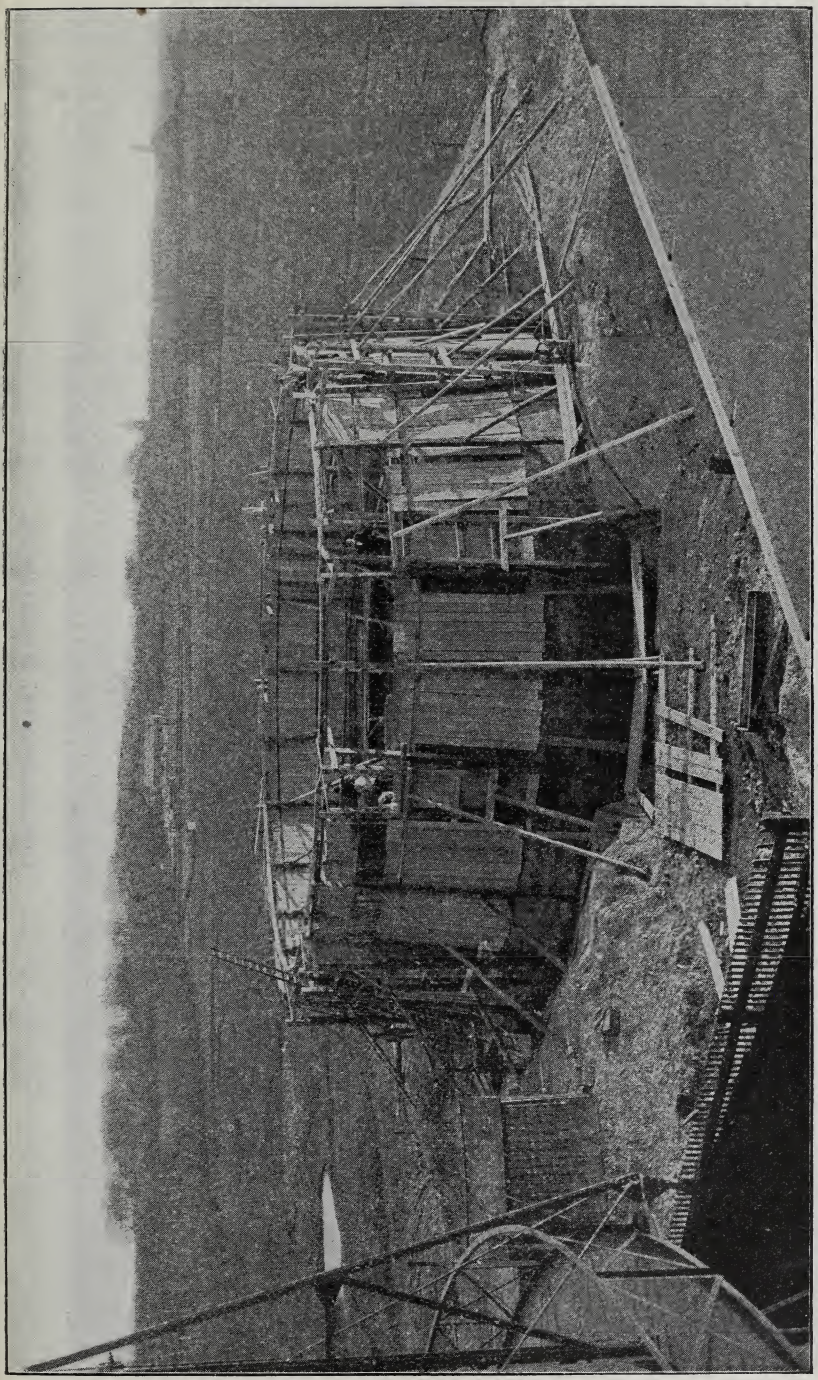
Reinwasserbehälter der städtischen Wasserwerke Berlin in Lichtenberg.
Ausgeführt in Stampfbeton.



Städtische Wasserfilteranlage in Güstrow.
Mit besonderer, sehr einfacher Einschalungsmethode.



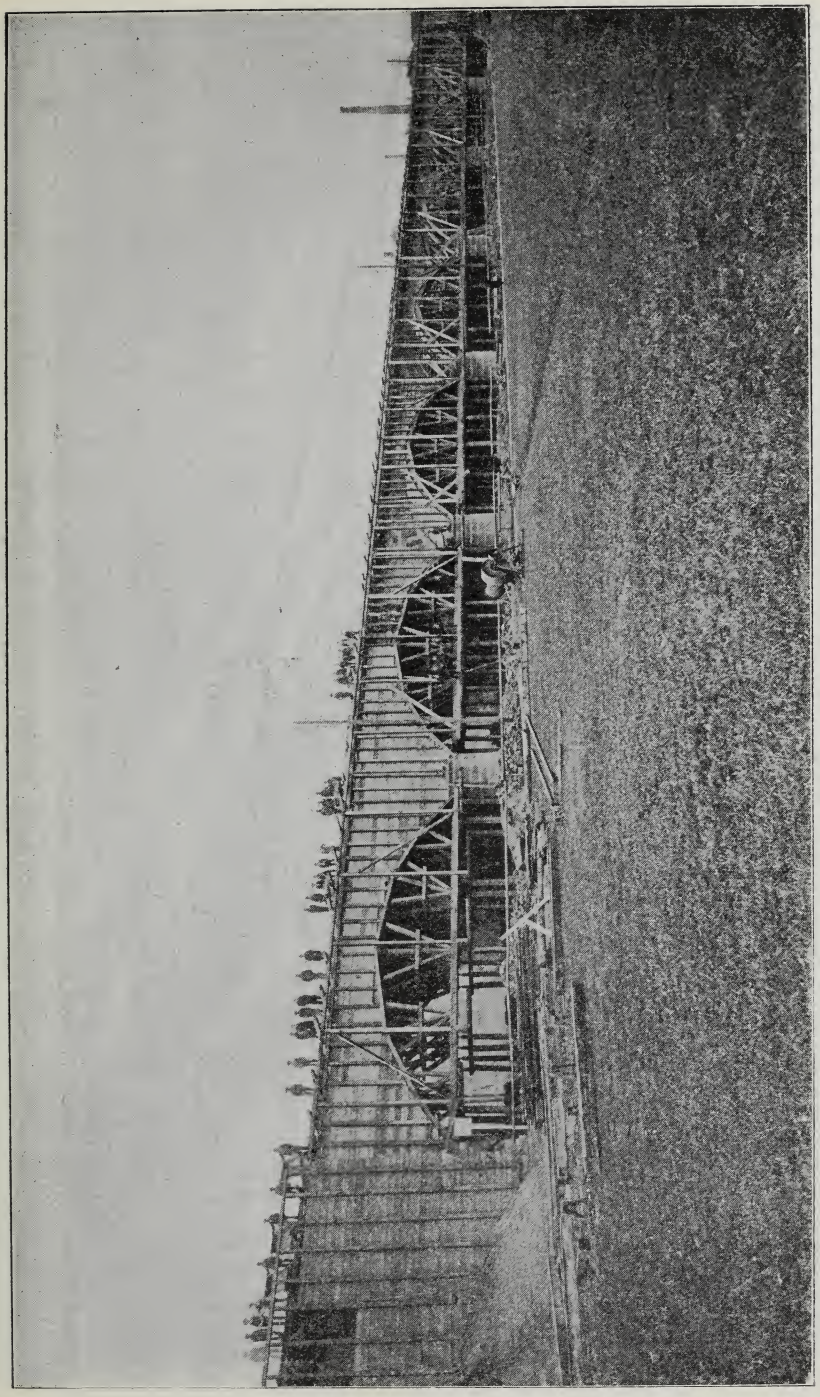
Bau eines Beton-Gasbehälters in Neustrelitz.
Maschinenbetrieb: Steinbrecher, Mischmaschine, trotz beschränkten Arbeitsplatzes.



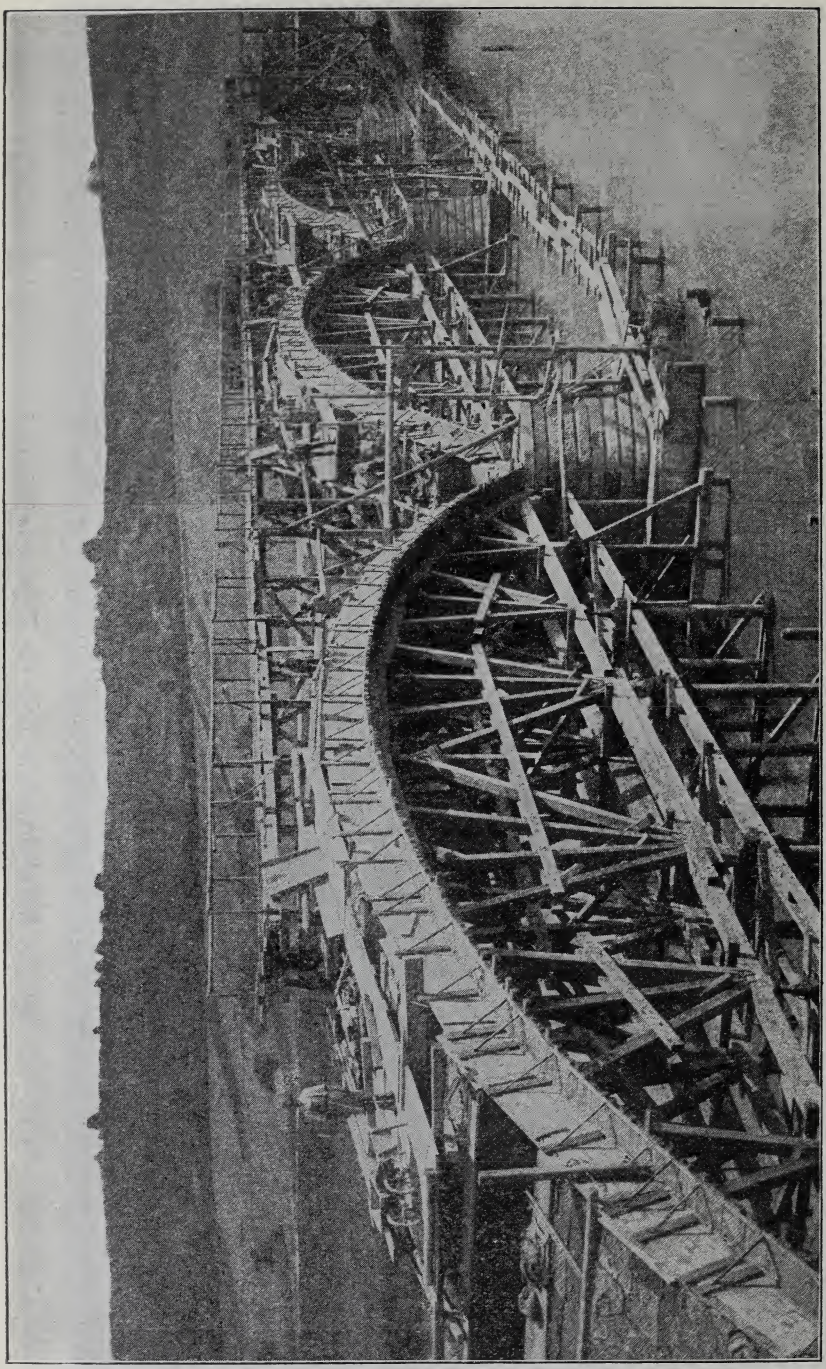
Bau eines Beton-Gasbehälters in Wismar.

Donaubrücke bei Munderkingen.

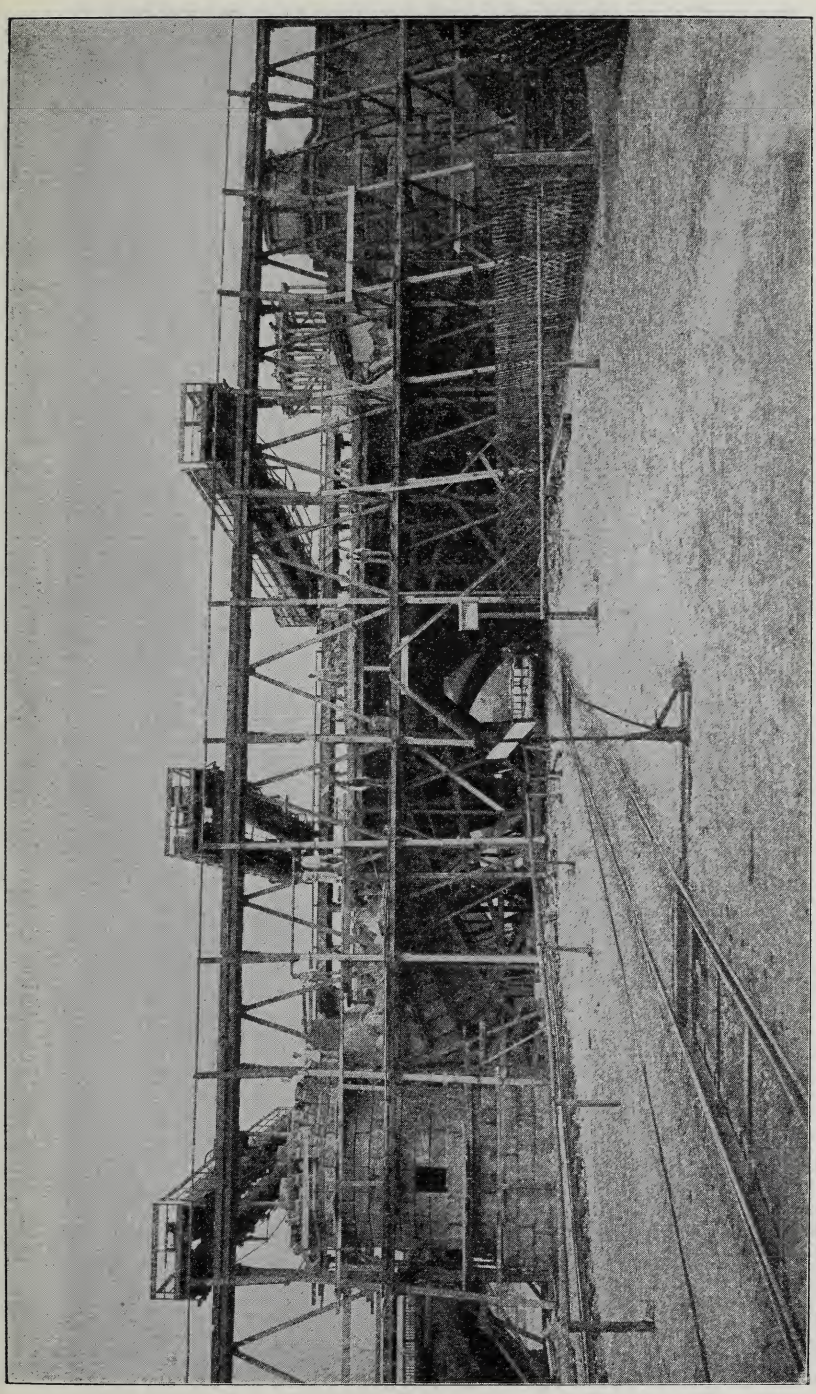
Ausgeführt in Stampfbeton. 50 m Spannweite, 5 m Pfeilhöhe, 1 m Scheitelstärke.



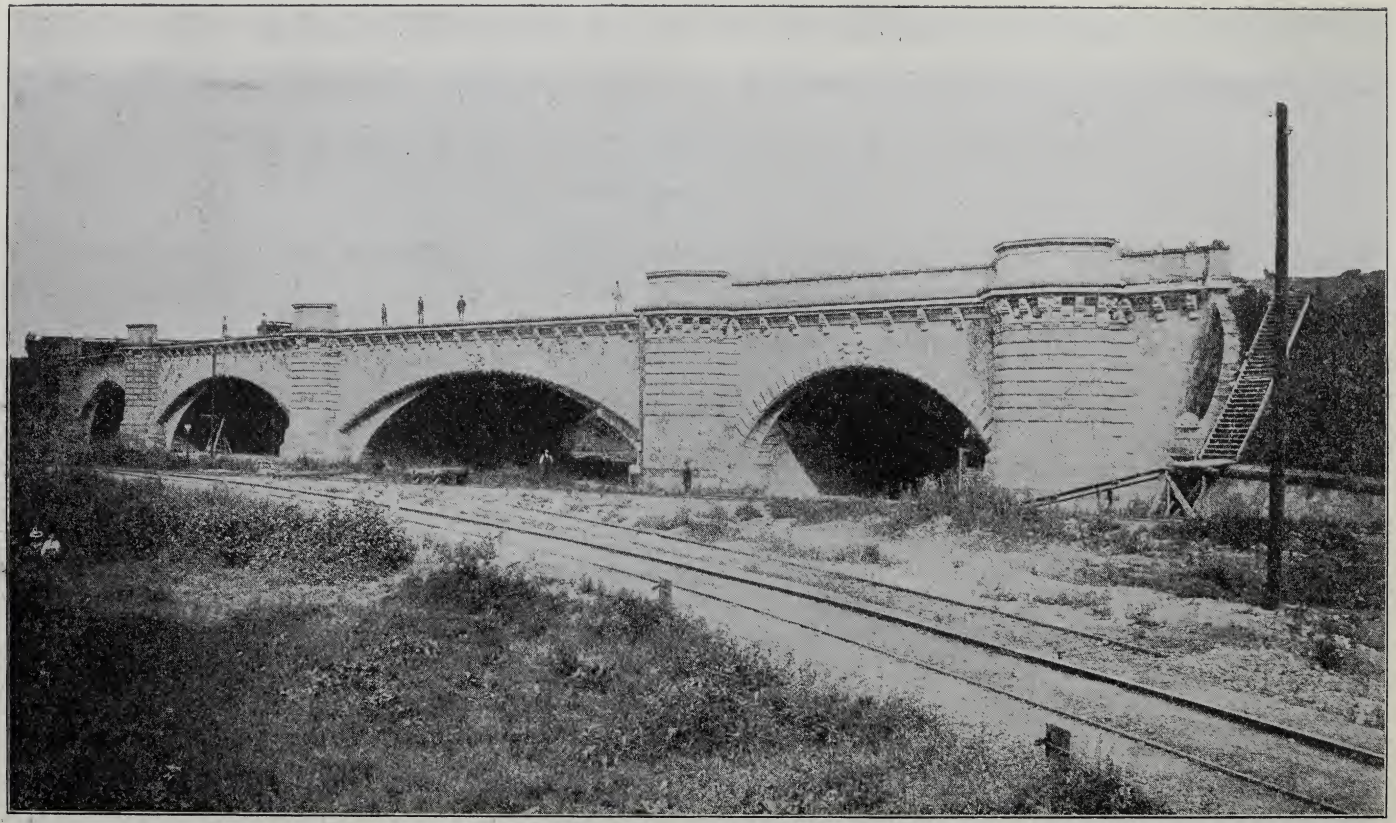
Bau der Eisenbahnbrücke über die Regnitz bei Fürth i. B.
6 Oeffnungen von je 21 m Spannweite.



Bau der Neckarbrücke bei Kirchheim.
4 Oeffnungen von je 38 m Spannweite.

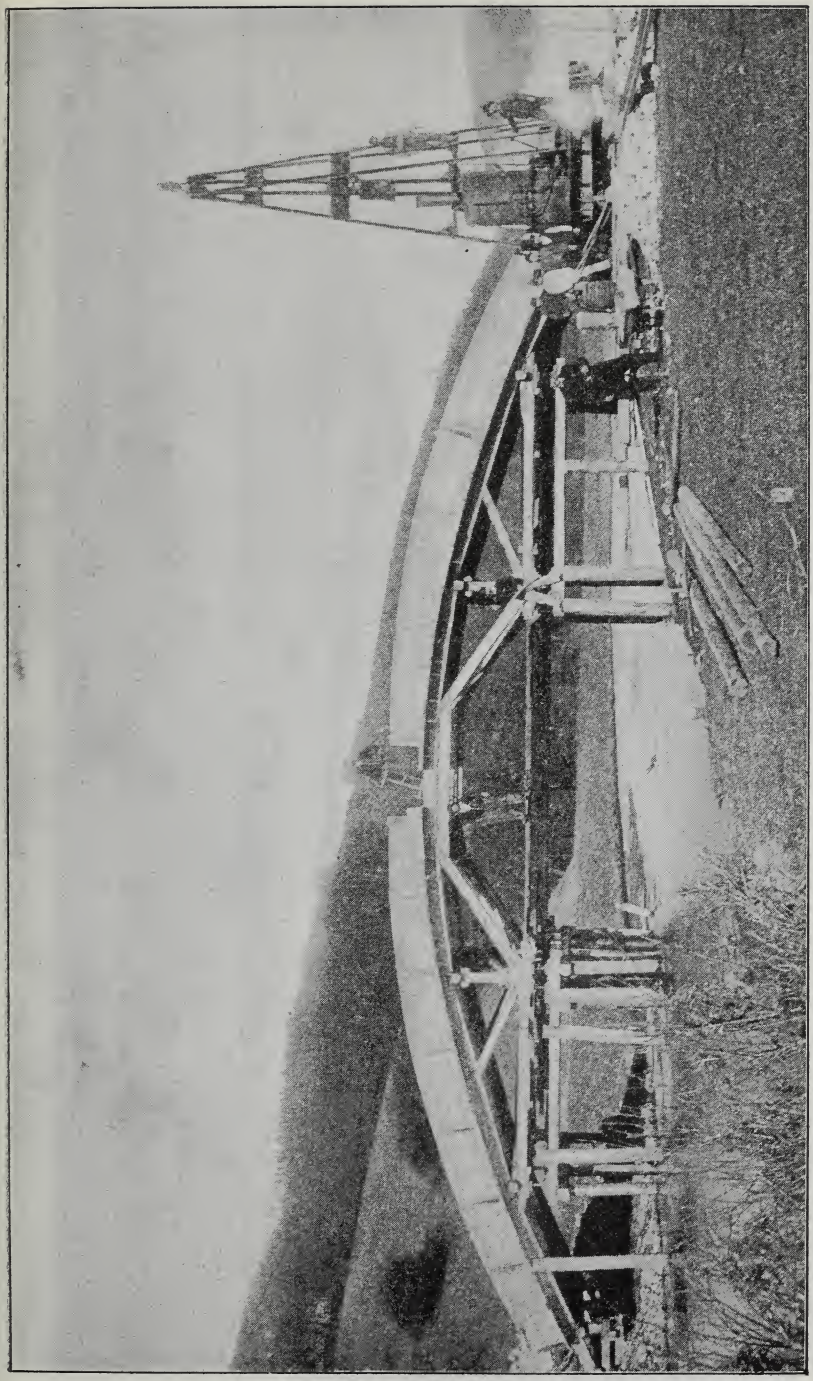


Bau des Inundationsviadukts der viergleisigen Eisenbahnelbbrücke in Dresden.
Spannweite: 1 Bogen von 15 m, 5 Bogen von 31 m.



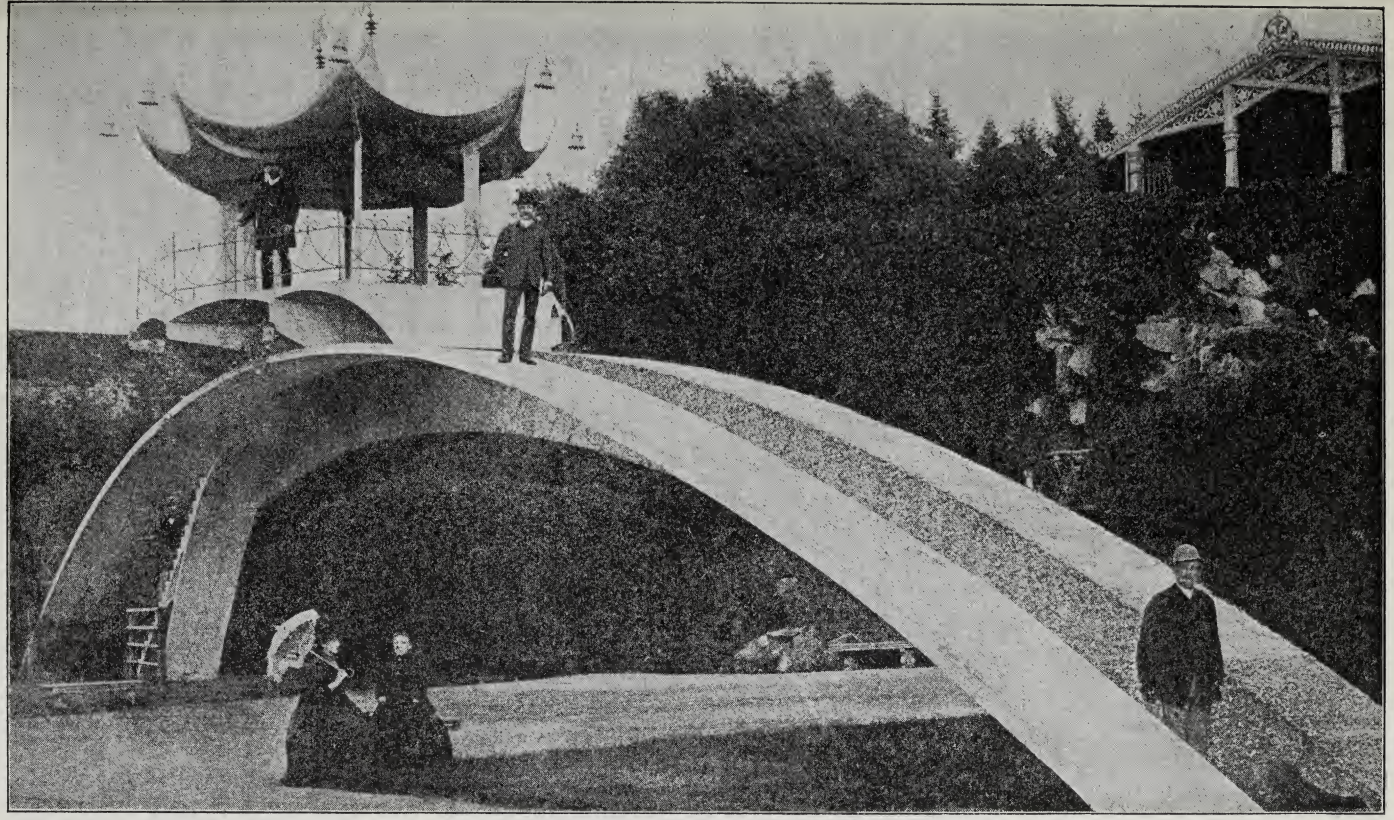
Inundationsviadukt der viergleisigen Eisenbahnelbbrücke in Dresden.

Ausgeführt in Stampfbeton mit Sandsteinverkleidung der Stirne und der Pfeilervorköpfe. 1 Bogen von 15 m, 5 Bogen von 31 m Spannweite.



Bau einer Beton-Gelenkbrücke mit Granitgelenken über die Volme bei Hagen.
Spannweite 25 m.

Betonbrücke bei Neckarhausen.
Spannweite 50 m, Pfeilhöhe 4,5 m, Gewölbepressung 40 kg/qcm.



Monierbogen von 35 m Spannweite, 4 m Pfeilhöhe, 10 cm Dicke, daneben Stampfbetonbogen ohne Eiseneinlage von gleicher Spannweite, gleicher Pfeilhöhe und Tragfähigkeit, 100 cm stark (Schaustück).

IV. Die Beton-Eisen-Bauweise.

Allgemeines.

Unter dem Begriff der Beton-Eisenkonstruktion werden alle jene Konstruktionen zusammengefasst, welche derart aus Portland-Cementbeton in Verbindung mit Eisen hergestellt werden, dass beide sich innig mit einander verbindenden Stoffe zu gemeinsamer statischer Wirkung gegen äussere Beanspruchungen gelangen. Hierbei gilt als Grundgesetz, dass der Beton hauptsächlich die Druckkräfte, das Eisen die Zugspannungen aufnehmen soll. Die so erstellten Bauwerke verbinden die Vorzüge des Massivbaues mit der leichten Erscheinung und Formgebung der Eisenkonstruktionen und verdanken ihre weite Verbreitung den grossen wirtschaftlichen Vorzügen gegenüber den entsprechenden Konstruktionen in Stein, Holz oder Eisen. In den meisten Fällen schon billiger in der Herstellung wegen der rationellen Ausnützung der Festigkeits-Eigenschaften der beiden verwendeten Materialien entfallen bei Beton-Eisenbauweise im Gegensatz zu den Holz- und Eisenkonstruktionen alle Unterhaltungskosten. Ausserdem geniessen sie diesen gegenüber den Vorzug der Feuersicherheit.

Die angeführten Vorzüge der Beton-Eisenbauweise ergeben sich aus folgenden grundlegenden Eigenschaften des Betons und des Eisens bezw. ihrer Verbindung.

1. Der Beton schützt das von ihm umhüllte Eisen am vollkommensten gegen Rostbildung.

Diese Thatsache ist heute wohl allgemein anerkannt; sie hat aber zur Voraussetzung, dass der Beton dicht und plastisch eingebracht wird, da nur dann die notwendige vollkommene Umhüllung des Eisens und festes Haften des Betons am Eisen stattfindet. Die rostschützende Eigenschaft des Betons beweist die grosse Anzahl der Wasserbehälter und Entwässerungsröhren, welche nach Moniers Bauweise erbaut, schon Jahrzehnte lang ihrem Zwecke dienen und keine Spuren von Rost an den Eiseneinlagen erkennen lassen. Es liegen auch Untersuchungen von 20 Jahre alten Kanalisationen aus Monierröhren vor, in denen sich die Eisenstäbe so erhalten haben, wie sie aus dem Walzwerk gekommen sind.

Professor Bauschinger hat noch im Jahre 1892 Untersuchungen bezügl. des Rostschutzes ausgestellt. Ueberreste von Versuchs-Objekten, die im Oktober 1897 geprüft worden waren, lagen bis zum Jahre 1892 im Freien. Beim Abschlagen der Betonschicht über den Drähten zeigte sich, dass der Beton immer nur an der vom Hammer zunächst getroffenen Stelle absprang, ein Zeichen, dass er an den darunter liegenden Drähten gut haftete. Diese Drähte zeigten sich schon dicht neben dem Bruchrand und auch überall im Innern rostfrei.

Am 23. Juli 1892 wurden einige Bruchstücke von 6 – 8 cm starken Monierplatten untersucht, welche um einen Kanaleinlauf gelegt und seit 4 Jahren fast fortwährend an den dem Einlauf zunächst liegenden Seiten mit Wasser bedeckt waren, das häufig mit Jauche vermischt war. Sie zeigten deutlich die Bruchränder, aus denen die Einlagedrähte, bis zu 5 cm lang hervorragten. An einer dieser Platten, welche etwas tiefer lag, als die andern, war die Drahteinlage zunächst ihrer Oberfläche gelegen. Beim Abmeisseln der kaum 2 cm starken Betonschicht über den Drähten ergab sich der Beton als ausserordentlich hart und sehr gut an den Drähten haftend. Die Drähte waren schon in 1 cm Entfernung vom Bruchrand völlig rostfrei.

Derartige Beispiele liessen sich noch viele erbringen.

2. Die Adhäsion des Portlandcement-Betons am Eisen ist eine sehr bedeutende.

Wenn Beton an Eisen nicht fest haftete, so müsste eine auf Biegung beanspruchte Platte mit Eiseneinlagen weniger leisten, als eine gleich dicke Betonplatte ohne Eisen, denn jede, mit dem Cement sich nicht vereinigende Einlage würde nur dazu beitragen, den Beton-Querschnitt zu schwächen. Thatsächlich beträgt aber die Biegungsfestigkeit einer armierten Betonplatte bei einer Eiseneinlage von 1 % der Querschnittsfläche 178 kg/qcm und steigt bei 1.45 % Eisenarmierung auf 247 kg/qcm, während die Biegungsfestigkeit einer reinen Betontafel höchstens 47 kg/qcm beträgt.

Man ist berechtigt, die Adhäsionsfestigkeit des Eisens am Beton gleich der Scherfestigkeit des Betons zu setzen. Neuere französische Versuche ergaben die Adhäsionsfestigkeit mit dem Durchmesser der Eisenstäbe veränderlich, aber im Allgemeinen etwa ebenso gross, wie sie von Bauschinger ermittelt wurde (40 – 47 kg/qcm).

Unter Zugrundelegung einer Adhäsionsfestigkeit von 40 kg/qcm berechnet sich z. B. die Länge, mit welcher ein Eisenstab im Beton stecken muss, damit er nicht mehr herausgezogen werden kann

bei einem Rundeisen von 10 mm Durchmesser auf 22 cm
" " " " 20 " " " 44 "
" " " " 30 " " " 66 "

3. Die Ausdehnungskoeffizienten von Eisen und Beton sind nahezu gleich gross.

Die Ausdehnungskoëffizienten werden nach Versuchen von Bouniceau für 1° C.

auf 0,00001235 für Stabeisen und
„ 0,00001370 für Portlandcement-Beton

angegeben; indessen ist der Ausdehnungskoëffizient des Betons je nach der Beschaffenheit des Kies- und Sandmaterials kleinen Schwankungen unterworfen.

Der früher gegen die Monierkonstruktion erhobene Einwand, dass der Zusammenhang der beiden ganz verschieden gearteten Stoffe durch Wärmewechsel gefährdet werden müsse, ist nicht stichhaltig.

Die Umhüllung schützt ausserdem das Eisen sehr wirksam gegen die Wärme. Nach amtlichen Feuerproben findet eine der Tragfähigkeit schädliche Loslösung von Eisen und Cementmörtel selbst bei hohen Temperaturen und plötzlichen Temperaturänderungen nicht statt.*)

Bei den gewöhnlichen Temperatur-Unterschieden kann übrigens eine Differenz in der Längenausdehnung durch ganz geringe innere Spannungen ausgeglichen werden.**)

4. Der Portland-Cement-Beton ist als Umhüllung von Eiseneinlagen im Stande, bei Zugbeanspruchungen solche Dehnungen auszuführen, als es die volle Ausnützung der Zugfestigkeit des eingelegten Eisens verlangt.

Nach den Versuchen Considère's und den allgemein bei Belastungsproben gemachten Erfahrungen treten Risse im Beton erst auf, wenn die Zugspannungen im Eisen dessen Elastizitätsgrenze erreicht oder überschritten haben. Considère wies ferner nach, dass so stark gedehnter Beton seine ursprüngliche Festigkeit behält. Aus Parallelversuchen mit Mörtel-Prismen ohne Eisenanlage, die eine acht- bis zehnmal geringere Dehnung des Betons ergaben, geht hervor, dass in einem Körper aus armirtem Beton das Eisen dem Beton die Eigenschaft verleiht, ohne zu reissen, viel grössere Dehnungen auszuführen, als für sich selbst.

Geschichtliches.

Als Erfinder des Betoneisenbaues wird allgemein Josef Monier, ein Gärtner in Paris, bezeichnet, der um das Jahr 1861 grosse Blumenkübel aus Cement durch Eiseneinlagen verstärkte und sie so

*) Vergl. die Broschüre: „Das System Monier." 1887. Herausgegeben von Ingenieur G. A. Wayss.

**) Vergl. Zeitschrift des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins 1897, No. 51.

leichter und dauerhafter machte. Er dehnte sodann diese Bauweise auf die Herstellung grösserer Wasserbehälter aus. Auf der Weltausstellung 1867 war neben Monier François Coignet vertreten, der Decken, Gewölbe und Röhren vorschlug, in deren Konstruktion man die Grundregeln des Betoneisenbaues erkennt.

Im Jahr 1867 nahm Monier sein erstes französisches Patent, dem er noch eine grössere Reihe anderer Patente über Behälter, Decken, gerade und gebogene Balken, Balken in Verbindung mit Decken usw. folgen liess. In seinen Patentzeichnungen begegnen wir schon allen jenen Elementen, welche in den verschiedenen Systemen heute noch bei den einzelnen Konstruktionsteilen angewandt werden.

Ende 1884 wurden die sogenannten Monier-Patente von der Firma Freytag & Heidschuch in Neustadt a. d. Hdt. und der Firma Martenstein & Josseaux in Offenbach a. M. zunächst für Süddeutschland gekauft. Das Vorkaufsrecht für ganz Deutschland traten sie ein Jahr später an Ingenieur G. A. Wayss ab. Dieser führte nun in Gemeinschaft mit den oben genannten Firmen in Berlin grosse Belastungsproben aus, deren Ergebnisse in der Broschüre: „Das System Monier. Eisengerippe mit Cementumhüllung“ 1887 veröffentlicht wurden und auf Grund deren es ihm gelang, der Monier-Bauweise bei öffentlichen und privaten Bauten Eingang zu verschaffen. In dieser Broschüre ist von G. A. Wayss erstmals bestimmt ausgesprochen, dass das Eisen in den Betoneisenkonstruktionen dahin zu legen ist, wo die Zugspannungen auftreten. An Beispielen wird die wirtschaftliche Zweckmässigkeit der neuen Bauweise gegenüber den althergebrachten dargelegt; auch die grosse Widerstandsfähigkeit der Monierplatten gegen Stösse wurde schon damals nachgewiesen. Regierungs-Baumeister Koenen, jetzt Direktor der Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau in Berlin, stellte für die Betoneisenkonstruktionen auf Grund jener Versuche Berechnungsmethoden auf, welche in jener Broschüre und auch im Jahrgang 1886 des Centralblattes der Bauverwaltung veröffentlicht sind.

Von da ab war eine theoretische Grundlage geschaffen, nach welcher die Bemessung von Betoneisenkonstruktionen erfolgen konnte. Nunmehr breitete sich das System Monier immer mehr aus, insbesondere auch in Oesterreich, wo sich in Wien eine Gesellschaft unter der Leitung von Ingenieur G. A. Wayss bildete. In England und den Vereinigten Staaten wurde armirter Beton schon längere Zeit angewandt: jedoch liess die grosse Verschiedenheit der Systeme und der Mangel an Methode bei der Herstellung keine rationelle Entwicklung aufkommen. Die Systeme Ransome, Wilson, das Streckmetall usw. finden daselbst im Hochbau mannigfache Anwendung.

Ausser dem System Monier, welches sich auch in seinem Ursprungslande, Frankreich, weiter entwickelte, kam daselbst eine grosse Anzahl anderer Systeme auf, von denen wir nur die Namen Cottancin,

Bordenave, Pavin de Lafarge, Coignet, Bonna, Matrai usw. nennen. Das bekannteste System ist das von Hennebique, der anfangs, wie die englischen und amerikanischen Fachgenossen, zunächst nur die Feuersicherheit im Auge hatte. Es ist am verbreitetsten in Frankreich, Belgien und der Schweiz. Die grosse Verbreitung der Betoneisenbauten in Frankreich ist hauptsächlich dem Umstande zu verdanken, dass man daselbst derartigen Neuerungen im Bauwesen weniger erwägend gegenüber steht und dass dort keine veralteten baupolizeilichen Bestimmungen die Entwicklung hindern, wie es teilweise in Deutschland der Fall ist.

Wenn wir im Nachstehenden eine kurze Uebersicht über die wichtigsten Systeme von Betoneisenkonstruktionen, deren man heute über 200 zählen kann, geben, so müssen wir zunächst die Betoneisenkonstruktionen in ihren verschiedenen Anwendungsgebieten als Platten, Balken, Säulen und Gewölbe betrachten, da viele der Systeme sich nur auf eines oder einige dieser Anwendungsgebiete erstrecken.

Bekanntlich entstehen bei einer an den Enden frei aufliegenden und in der Mitte belasteten Platte in den oberen Schichten Druckspannungen und in den unteren Zugspannungen. Da nun die Zugfestigkeit des Betons bedeutend kleiner ist als die Druckfestigkeit, so erfolgt der Bruch bei einer derartigen Beton-Platte in den gezogenen Schichten und es ist der Zweck der Eiseneinlage, dem entgegen zu wirken. Bei der Bemessung des einzulegenden Eisenquerschnitts ist die Eiseneinlage in ein angemessenes Verhältnis zur Druckfestigkeit des Betons zu bringen (Vergl. Kap. V).

Die Eisenstäbe werden in der Richtung der Hauptzugspannungen und möglichst nahe an die Unterseite der Platte zu legen sein, so zwar, dass sie noch genügend mit Beton umhüllt sind. In gutem Mörtel eingelegte dünne Drähte werden von 0,5 cm Mörtel sicher eingehüllt; stärkeren Drähten wird man mindestens 1 cm Abstand von der Aussenfläche geben. Beim System Monier sind ausser den die Zugspannungen aufnehmenden „Tragstäben“ noch senkrecht dazu sogen. „Verteilungsstäbe“ angeordnet, welche den Zweck haben, die Tragstäbe während der Deckenherstellung in ihrem gegenseitigen Abstand zu erhalten und die daher an den Kreuzungsstellen mit den Tragstäben durch Bindedraht verbunden sind (Fig. 25). Die Verteilungstäbe sollen ferner die infolge Wärmeänderung senkrecht zu den Tragstäben auftretenden Spannungen aufnehmen und dadurch die Bildung von Rissen verhindern.

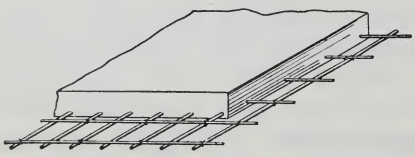


Fig. 25. System Monier.

Von den Auflagerungs- und Beanspruchungsverhältnissen der Platte hängt Anzahl und Stärke dieser Verteilungsstäbe ab. Sie haben

auch die Aufgabe, bei der Einwirkung konzentrierter Lasten eine grössere Plattenbreite zur Aufnahme der Last heranzuziehen.

Liegt die Platte auf allen vier Seiten auf, so legt man die stärkeren Tragstäbe in der Richtung der kleineren Spannweite und die schwächeren Verteilungsstäbe in der Richtung senkrecht dazu. Die Entfernung der Tragstäbe von einander beträgt 5 – 15 cm, kleinere Durchmesser der Eisen und geringe Abstände derselben sind wirksamer, als starke Eisen in grossen Entfernungen. Der Durchmesser der Verteilungsstäbe ist 5 – 7 mm, ihr Abstand 10 – 20 cm.

Von den verschiedenen Systemen, welche sich der Eiseneinlagen im Beton bedienen, nennen wir: System Bordenave, welches hauptsächlich schwache I-Profile verwendet, System Bonna, bei dem +-Eisen zur Anwendung gelangen, und System Hyatt (Fig. 26) mit Tragstäben aus aufrecht stehenden Flacheisen, die mit Löchern versehen sind, durch welche die aus dünnen Rundeisen bestehenden Verteilungsstäbe hindurchgesteckt werden.

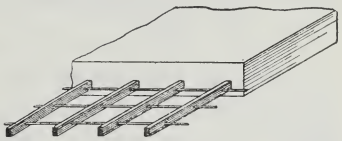


Fig. 26. System Hyatt.

Das in Amerika zu einiger Bedeutung gelangte System Ransome (Fig. 27) unterdrückt die Verteilungsstäbe vollständig und bildet die Tragstäbe als schraubenförmig gewundene Quadrateisen aus, um Gleiten derselben im Beton zu verhindern.

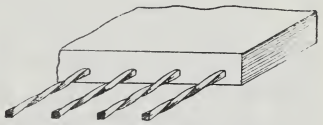


Fig. 27. System Ransome.

Andere Konstrukteure, wie Coignet (Fig. 28), haben die Trag- und Verteilungsstäbe zu einem regelrechten Netzwerk verflochten.

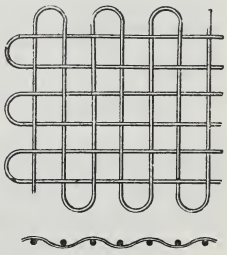


Fig. 28. System Coignet.

Eine ähnliche Art der Eisenanlage bildet das sogen. Streckmetall (métal deployé, expanded metal) des Amerikaners Golding (Fig. 29), dessen Widerstandsfähigkeit durch verschiedene Blechstärken und Maschenweiten dem Zwecke angepasst werden kann. Versuche von Fowler & Backer mit Betonplatten haben bei gleichem Eisenaufwand die Ueberlegenheit des Rundeisens über das Streckmetall erwiesen, obwohl dieses aus Stahlblech hergestellt wird. Der Grund liegt wohl darin, dass das Blech schon bei der Herstellung des Netzes einer sehr bedeutenden Beanspruchung unterliegt.

Fig. 29. Streckmetall.

Bisher war angenommen, dass die Platte an ihren Enden frei aufliege. Die Eiseneinlage, die ja nur in der Form abweicht, befindet sich dann bei allen beschriebenen Systemen im unteren Teil des Querschnitts.

Bei einer grossen Zahl von Konstruktionen ist indessen an den Auflagern eine gewisse Einspannung in den Umfassungsmanern vorhanden oder die Platte liegt ohne Ende über Eisenträgern. Hierdurch vermindert sich das Moment in der Mitte der Platte, aber gleichzeitig treten entgegengesetzt gerichtete Biegungsmomente an den Stützen auf und es müssen daher zur Aufnahme der Zuspannungen in der oberen Querschnittshälfte die Eisen in der Nähe der Stützen in die obere Zone eingelegt werden. Wir gelangen in dieser Weise zu den schon von Monier verwendeten abgebogenen Eisen, deren Verlauf in Bezug auf die Neutralaxe entsprechend demjenigen der Maximalmomentenlinie erfolgt (Fig. 30).

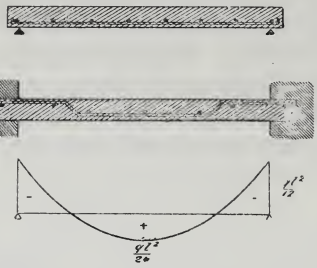


Fig. 30. System Monier.

Fig. 31. System Hennebique.

Fig. 32.

Beim System Hennebique (Fig. 31) besteht die Armierung in einem solchen Fall aus zwei Reihen von Eisenstäben. Der eine Teil ist gerade und liegt im untern Teil des Betonquerschnitts, die anderen abgebogenen Eisen befinden sich über den Stützen in der oberen Querschnittszone, sind gegen die Mitte der Oeffnung abgebogen und kommen dann neben die geraden Stäbe zu liegen. Hennebique sieht in den abgebogenen Eisen hauptsächlich ein Mittel gegen die Schubspannungen und wendet dieselben auch bei nicht eingespannter Platte an. Die von ihm verwendeten Flacheisenbügel zur besseren Verbindung des Betons mit den Eiseneinlagen (Fig. 32) sind nach anderweitig gemachten Erfahrungen durchaus überflüssig.

Fig. 33.

System Koenen. System Klett, Wilson.

Die gebogenen Eisen sind auch noch verwendet bei den Systemen Klett, als Flacheisen auf genieteten Winkeleisenstückchen, Wilson und Koenen. (Fig. 33). Bei den beiden letztgenannten ist die Platte an den Trägern verstärkt, wie es die grossen Stützenmomente einer durchgehenden Platte verlangen.

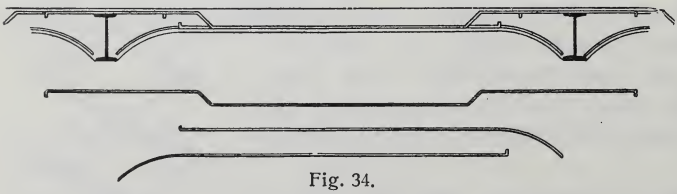


Fig. 34.

Die einfache Art der Armirung dieser Systeme genügt nicht mehr, sobald eine bewegliche Verkehrsbelastung die Felder ungleich

belastet oder wenn die benachbarten Felder ungleiche Spannweiten aufweisen. Es ist überhaupt nicht angängig, beim Projektiren von Betoneisenkonstruktionen schablonenhaft ein bestimmtes System einzuhalten anstatt das Eisen rechnungsgemäss an allen gezogenen Stellen einzubringen und die durch die Erfahrung gebotenen Grundsätze dabei zu beachten.

Fig. 34 stellt eine Betoneisendecke mit voutenförmiger Unteransicht zwischen I-Trägern vor. Die Eiseneinlagen, aus Rundeisen bestehend, sind auf Grund der Maximal-Momentenlinien kontinuierlicher Träger berechnet und eingelegt. Es ist daraus ersichtlich, in welcher Weise man die Eiseneinlagen durch Uebergreifen und Abbiegen den Momenten anpassen kann. Dasselbe wird erreicht bei der Gelenk-Eisendecke mit gegliederten Einlagen D. R. P. 109964, Fig. 35, bei welcher die Einlage-Eisen aus Flacheisen bestehen, die an den Nullpunkten der Momente durch Scharniere mit einander verbunden sind, sodass in einfacher Weise die durch die Verschiedenheit der Biegungsmomente bedingte Veränderung des Eisenquerschnittes möglich gemacht ist. Der Vorteil der Voute, d. h. der von selbst sich ergebenden Verstärkung des Betonquerschnitts im I-Träger besteht darin, dass für die Stützenmomente, welche die Momente der zwischenliegenden Querschnitte weit überwiegen, keine besonderen Verstärkungen in den Eiseneinlagen notwendig sind. Die Verstärkung des Betonquerschnitts an den Auflagern wird dann erforderlich, wenn die Plattenstärke in der Mitte so gering bemessen wird, dass daselbst die Druckfestigkeit des Betons voll ausgenützt ist. Würde in diesem Falle die Platte in derselben Stärke über den Zwischenstützen ausgeführt, so wäre an diesen Stellen der Beton überansprucht.

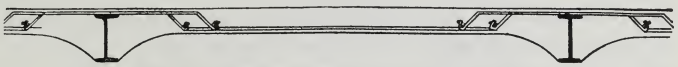


Fig. 35. Gelenkeisendecke D. R. P. 109964.

Die einfachen Monierplatten werden unter Anderem schon lange zweckmässig als Fusswegbelag eiserner Brücken verwendet. Sie bieten einen Ersatz für die Buckelplatten und sonstige Zwischenkonstruktionen und gestatten eine einfache und übersichtliche Anordnung. Sie eignen sich ferner für gerade Ueberbrückung von Wasserläufen und Wegen als sogen. Plattendurchlässe.

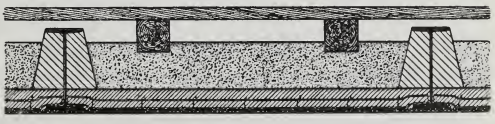


Fig. 36 System Holzer.

Zu den einfachen Betoneisenplatten mit frei aufliegenden Enden gehören auch die Decken nach dem System Holzer, bei welchem die notwendige Eiseneinlage durch kleine 22 mm hohe I-Trägerchen gebildet wird, (Fig. 36). Der Zweck dieser besonderen Querschnittsform liegt in der Ersparnis der Bretterverschalung bei der Herstellung.

Die Unterlage für den Beton bilden Rohrmatten, die auf Rundeisen aufliegen, welche mit Bindedraht an die I-Trägerchen gehängt sind. Diese haben also während der Ausführung die Last der Decke zu tragen.

Plattenbalken.

Die Plattenbalken entstehen durch Verbindung der einfachen Platte mit den dieselbe unterstützenden Betoneisenunterzügen. Es wird dadurch ein statisch wirksames tragfähiges T-Profil gewonnen, bei dem die ökonomische Materialausnützung eine noch grössere Rolle spielt, als beim rechteckigen armierten Querschnitt. Zwar ist nicht ausgeschlossen, auch Betoneisenträger mit einfachem rechteckigen Querschnitt und genügender Tragfähigkeit zu bilden, es liegt aber auf der Hand, dass die Mittbenutzung einer oben aufliegenden Decke zur Aufnahme der Druckspannungen von grossem wirtschaftlichen Vorteil sein muss.

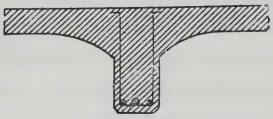


Fig. 37.

Zwischen der Decke und der Rippe werden ziemlich bedeutende Schubspannungen auftreten, welche durch die vertikal stehenden Eiseneinlagen, die sogenannten Bügel, im Verein mit der Scheerfestigkeit des Betons übertragen werden. Die Uebergänge von Balken und Deckenplatte werden zur besseren Uebertragung der Kräfte zweckmässig nach Fig. 37 oder 38 ausgebildet. In dieser Weise lässt sich auch die Vouten-Decke zwischen Betoneisenträgern ausführen.

Nachstehend eine Uebersicht über die verschiedenen angewendeten und vorgeschlagenen Systeme von Betoneisenbalken. Schon Monier hat in seiner Patentschrift 1878 Ponts et Passerelles angegeben, die durch Rippen mit starken Rundeisenlagen verstärkt waren; auch die Drahtbügel finden wir daselbst.

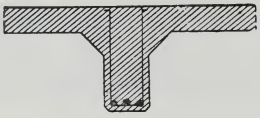


Fig. 38.

Im Jahr 1886 wurden die ersten Betoneisenbalken in der Bibliothek in Amsterdam ausgeführt; in der Waysschen Broschüre 1887 finden wir Abbildungen von armierten Fensterstürzen und von der Firma Wayss & Co. in Wien sind die ersten Betoneisenbalken schon im Jahr 1890 hergestellt worden, wogegen die Hennebiqueschen Patente erst vom Jahr 1893 bezw. 1897 datieren.

Ganz wie bei den ebenen Platten müssen an den Stellen, wo negative Momente auftreten, Eisen in der Nähe der Plattenoberkante eingelegt werden, was auch durch Abbiegen der Eisen erreicht werden kann.

Hennebique armiert seine Balken ähnlich wie seine Deckenplatten, legt jedoch, um an Trägerbreite zu sparen, je ein abgebogenes Eisen über ein gerades durchgehendes und umfasst beide mit den Bügeln aus dünnem Flacheisen (Fig. 32). Je nach der erforderlichen

Widerstandsfähigkeit werden mehrere solcher Rundeisenpaare neben einander gelegt.

Die bei den Deckenplatten aufgezählten Systeme Klett & Wilson, bei denen die Armierungen ausschliesslich aus aufgehängten gebogenen Eisen bestehen, haben ihr Gegenstück bei den Balkonkonstruktionen in dem System Möller, das schon einigemal bei Brücken bis 15 m Spannweite angewendet worden ist. Die Rippen sind hier an ihrem unteren Teil durch ein aufgehängtes, gekrümmtes Flacheisen begrenzt, das über den Auflagern verankert ist, und auf dem ⌊-Eisenstückchen aufgenietet sind. Die Rippen haben Fischbauchform und folgen genau dem Verlauf der hängenden Flacheisen; ihre Höhe nimmt gegen die Auflager bis auf Null ab, während die Stärke der Decke in der Nähe derselben zunimmt. Die Decke hat den Horizontalzug der hängenden Rippeneisen aufzunehmen. (Vergl. die Abbildung einer Brücke auf S. 161.)

Beim System Coignet ist ein starkes Rundeisen sowohl in der Zugzone als auch in der Druckzone angeordnet. Beide Eisen sind durch ein zickzackförmig gebogenes Bandeisen, das sich mit Drahtumwicklungen bald an das obere, bald an das untere Rundeisen anschliesst, mit einander verbunden. Die Decke ist hierbei wie eine gewöhnliche Monierplatte gestaltet.

Die Bauweisen Pavin de Laforge, Lefort, Cottaucin und Bonna seien übergangen und nur noch das durch seine Besonderheit bemerkenswerte System Sanders erwähnt.

Sanders bringt die Verstärkungsrippen oberhalb der Deckenplatte an, so dass die die Zugspannungen aufnehmenden Eisen in die Decke zu liegen kommen und auf die ganze Breite derselben verteilt werden können. Die Rippen selbst erhalten keine Eiseneinlage.

Wie aus der Maximalmomentenlinie für eingespannte und kontinuierliche Träger hervorgeht, sind die Momente teils positiv, teils negativ; es kann daher von keinem besonderen Vorteil sein, die Rippe über der Deckenplatte anzubringen.

An den Mittelstützen, wo die Momente am grössten sind, treten an der Balkenunterkante grosse Druckspannungen auf, zu deren Verminderung der Trägerquerschnitt daselbst zweckmässig in Form einer Konsole oder einer voutenförmigen Ausrundung erhöht wird.

Fig. 39 zeigt die von der Firma Wayss & Freytag geübte Ausführungsweise der Betoneisenträger. Es sind dabei, im Gegensatz zu Hennebiques System, die Rundeisen neben einander gelegt. Dabei umfassen die Bügel sämtliche Eisen oder doch eine grössere Anzahl derselben, so dass

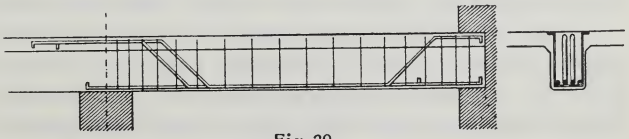


Fig. 39.

auch eine Verbindung der Eisen unter sich geschaffen ist, die Spaltungen oder Längsrisse ausschliesst.

Eines oder zwei der unten eingelegten Eisen gehen bis an die Auflager oder Mittelstützen fort und übergreifen sich an den letzteren ein wenig. Durch Uebergreifen der abgebogenen Eisen über den Mittelstützen wird der für die grossen negativen Stützenmomente notwendige Eisenquerschnitt erzielt. Entsprechend der Zunahme der Querkräfte nach den Auflagern hin wird auch die Stellung der Bügel daselbst eine engere.

Ist ein Raum von bestimmter Grundrissfläche zu überdecken, so wird er durch Hauptträger, wenn notwendig mit Mittelstützen, in einzelne Felder eingeteilt, die entweder durch die Decke direkt überspannt werden können, oder es werden zwischen die Hauptträger noch Nebenträger eingezogen, wodurch die Spannweite der Deckenplatte verringert wird. Die letztere liegt in einem solchen Fall auf allen vier Seiten des Rechtecks auf und bedarf dann auch einer, allerdings schwächeren Armierung in der Längenrichtung. Die Hauptarmierung wird in der Richtung senkrecht zu den Nebenträgern gelegt.

Säulen.

Bei den Säulen ist zu unterscheiden zwischen einer Armierung mit Rundeisen oder einer solchen mit Profileisen, welche zu tragfähigen steifen Gerippen ausgebildet werden können. Von Bedeutung ist die Art des horizontalen Verbandes dieser Armierung. Bemerkenswert sind die Vorschläge für die Herstellung von Säulen, nach denen statt einer Holzverschalung eine Umhüllung aus Hohlziegeln oder Cementsteinen benutzt wird. Diese Idee ist schon mehrfach bei Brückenpfeilern angewendet worden. Im Hochbau haben aber die Betoneisenpfeiler meist guss- oderschmiedeeiserne Säulen zu ersetzen und sollen daher möglichst geringen Querschnitt erhalten, so dass eine derartige Verschalung sich von selbst verbietet.

Matrai hat zur Sicherstellung gegen exzentrische Lasten eine gebogene Armierung der Säulen angewendet, deren praktischer Wert etwas zweifelhaft ist. Bei anderen Konstruktionen überwiegt das Eisen im Säulenquerschnitt, bei den meisten Ausführungen überwiegt aber die Betonmasse den Eisenquerschnitt, so dass ein richtiges statisches Zusammenwirken beider Materialien stattfinden muss.

Der Betonpfeiler von irgend einer Querschnittsform schliesst eine gewisse Anzahl vertikal stehender Rundeisenstangen ein, die in der Nähe des Umfangs untergebracht sind. In gewissen Abständen sind diese Rundeisen durch Drahtbügel oder Blechlaschen mit einander verbunden. Die Armirung hindert also den Beton am seitlichen Ausweichen. Es folgt daraus, dass auch bei hohen Säulen, abgesehen von der notwendig einzuhaltenden Knicksicherheit, die sogen. Würfelfestigkeit des Betons erhalten bleibt, welche wesentlich höher ist als diejenige

prismatischer Körper. Auf der andern Seite verhindert der Beton die eingeschlossenen Eisenstangen am Ausknicken zwischen den Querverbindungen, die gewöhnlich 20 bis 40 cm weit auseinander liegen.

Für einen quadratischen Pfeiler besteht die Eiseneinlage meist aus 4 Rundeisen in den Ecken, die Bügel sind aus 7 – 10 mm starken Drähten gebildet (Fig. 40).

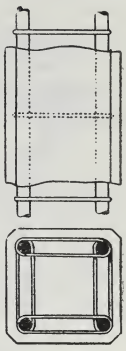


Fig. 40.

Hennebique bildet sie als Flacheisen oder bei kleineren Säulenquerschnitten als durchgehende Bleche aus, welche zum Durchstecken der Eisen durchlocht werden.

Am Fuss der Pfeiler stehen die Säuleneisen auf einem Rost von Flacheisen auf, damit sich der von ihnen übertragene Druck auf eine grössere Betonfläche verteilt. Bei Säulen, die durch mehrere Stockwerke eines Gebäudes gehen, wird der Querschnitt geringer nach oben, sodass die Eisen abgekröpft werden müssen; ferner wird sich in einem solchen Fall die Notwendigkeit ergeben, Eisen zu stossen, was in einfacher Weise durch Ueberschieben von kurzen Gasrohrstückchen über die stumpfen Stösse bewirkt wird. (Fig. 41.)

Fig. 41.

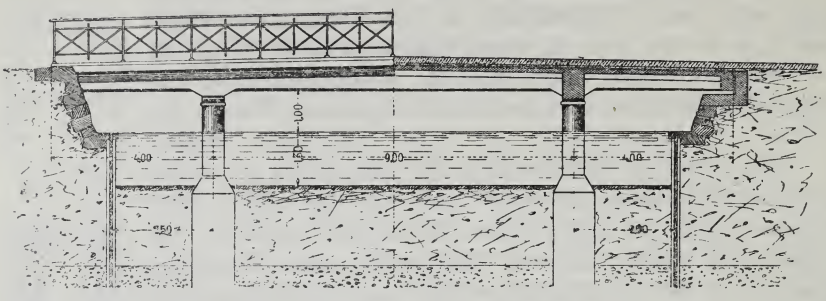
Selbstverständlich kann der Säulen-Querschnitt auch rechteckig, sechseckig, achteckig, rund usw. sein und die Zahl der Eisenstangen kann mit der Beanspruchung steigen, bei exzentrischer Belastung sogar einseitig verteilt sein. Das Innere der Säulen kann auch hohl, etwa durch Einbetonieren von Röhren ausgebildet werden, sei es um zur Ableitung von Regenwasser oder zum Einlegen von Gas- oder Wasserleitungsröhren benutzt zu werden.

Die Querschnitte der Säulen wechseln je nach Beanspruchung und Knickgefahr von 15/15 cm bis 50/50 cm und mehr. Der Durchmesser der einzulegenden Eisen kann zwischen 14 – 40 mm schwanken.

Anwendung von Plattenbalken.

Die Betoneisenbalken mit Decke können zu denselben Ueberdeckungen benutzt werden, wie die einfache Betoneisenplatte, wenn die Spannweite grösser ist. Vom theoretischen Standpunkt aus bietet eine durch Rippen verstärkte Platte eine sparsamere Materialausnützung dar, als eine Platte gleichbleibender Dicke. Bis zu einer gewissen Spannweite jedoch werden die grösseren Einschalungskosten der Rippen die Ersparnis an Material ausgleichen, sodass also die Plattenbalken erst etwa von 3 – 4 m Spannweite an vorteilhaft ausgeführt werden. Je nach der Art der Einwirkung der Verkehrslast kann sich übrigens dieses Verhältnis ändern; Brücken aus geraden Betoneisenbalken mit einer oder mehreren Oeffnungen sind schon in grosser Zahl ausgeführt, sogar unter Eisenbahnlinien und haben sich gut bewährt. (Vergl. die diesem Kapitel angehängten Abbildungen.)

Aehnlich wie bei der Entwicklung der eisernen Brücken hat sich auch hier das Bedürfnis geltend gemacht, die Auflagerreaktionen durch konstruktive Massregeln möglichst bestimmt zu gestalten und sind dem-



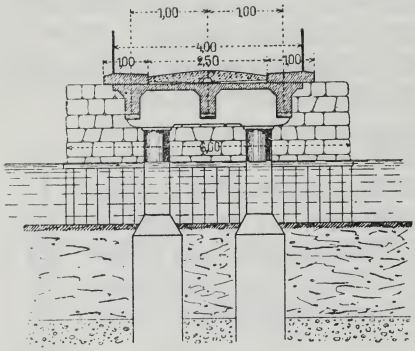


Fig. 42.
Brücke über die Niers bei Wachtendonk.

entsprechend derartige Balkenbrücken schon mit einem festen und einem gleitenden Auflager hergestellt worden.

Fig. 42 stellt die im Jahr 1902 erbaute Brücke über die Niers bei Wachtendonk vor. Diese Brücke ist ein Kragträger, dessen mittlere Oeffnung 9 m und dessen beide frei auskragenden Seitenöffnungen je 4 m Spannweite besitzen. Die Mittelpfeiler werden durch Monierrohre gebildet, welche nach Art der Senkbrunnen ohne Wasserhaltung versenkt und mit Beton unter Wasser ausgefüllt wurden. Die Pfeiler sind durch eingelegte Eisen armirt und mit der Betoneisentraverse, welche die 3 Hauptträger schützt, starr verbunden.

In gleicher Weise wie zu Brücken kann die Plattenbalkenkonstruktion zu Ueberdeckungen aller Art vorteilhafte Anwendung finden.

Bei mässiger Aufschüttung und Verkehrsbelastung ist die gerade Ueberdeckung ökonomischer als eine gewölbte Konstruktion da geringere Stärken der Widerlagsmauern notwendig sind. Häufig sind, wie bei Bachüberdeckungen, vorhandene Mauern zur Auflagerung benutzbar, indem man die Trägerenden unter sich durch Betoneisentraversen verbindet, die den Auflagerdruck der Träger gleichmässig auf die ganze Mauer verteilen.

Gegenüber eisernen Brücken fällt bei den Ueberführungen in Betoneisenkonstruktion über Bahneinschnitten neben den geringeren Herstellungskosten ins Gewicht, dass sie von den Rauchgasen der Lokomotiven nicht angegriffen werden, während die Eisenträger unter

solchen Verhältnissen sehr schnell rosten und nach wenigen Jahren ausgewechselt werden müssen.

Während die Brücken mässiger Spannweite nach dem oben Ausgeführten gegenüber den bisher üblichen gewölbten Konstruktionen im Vorteil sind, wird die Ueberspannung grosser Oeffnungen wohl immer den Gewölben vorbehalten bleiben.

Verwendung der Betondecken, Balken und Säulen zu Hochbauten.

Das Anwendungsgebiet der biegungsfesten Betoneisenkonstruktionen im Hochbau hat schon grosse Bedeutung und wird mit der Zeit immer mehr an Verbreitung gewinnen. Die Betoneisenbauweise eignet sich am besten für weitgespannte und schwerbelastete Decken, ersetzt daher die hergebrachten Bauweisen vorzugsweise in Fabriken, Lagerhäusern, Warenhäusern, Hotels usw.

Die sonst aus Eisen hergestellten Säulen, Träger und Unterzüge werden durch entsprechende Konstruktionsteile in Betoneisen ersetzt. Alle Teile werden an Ort und Stelle hergestellt. Die Säulen bilden mit den Trägern eine steife Verbindung, die durch die Ausrundung der Trägerenden noch besonders verstärkt ist. Hierdurch wird die Standfähigkeit des ganzen Gebäudes, selbst bei geringen Stärken der Umfassungsmauern, bedeutend erhöht. Die Auflagerung der Betoneisenträger an den Aussenmauern kann zwar auf gewöhnlichem Mauerwerk erfolgen, das aber dann, um Setzungen zu vermeiden, gut fundiert und mit Cementmörtel gemauert werden muss, oder es wird im Mauerwerk ein sogen. Wandpfeiler heruntergeführt, der die von den Hauptträgern übertragenen Deckenlasten aufnimmt. Werden alsdann die Wandpfeiler noch durch besondere Wandträger verbunden, die das Auflager für die Decken an der Aussenwand bilden, so kann die tragende Betoneisenconstruktion unabhängig von aller Maurerarbeit für sich allein emporgeführt und fertiggestellt werden. Das vom Eigengewicht der Decken und ihren Nutzlasten völlig entlastete Mauerwerk der Umfassungswände ist nunmehr nur noch eine Verkleidung, die dem neuartigen Bauwesen das gewohnte Aussehen verleiht. Aber wenn dieses Verkleidungsmauerwerk, das nach aussen nichts von der eigenartigen tragenden Innenkonstruktion erkennen lässt, auch ausgeführt wird, so kann es doch schwächer gehalten werden, als es sonst gemacht werden müsste. Man kann dabei, was für Fabrikbauten von Wichtigkeit ist, grosse Lichtöffnungen anbringen und zu diesem Zweck die Wände bis Deckenunterkante ausnutzen. Die angehängten Lichtbilder geben einen Ueberblick über das grosse Anwendungsgebiet der Betoneisenbauweise.

Schon längst werden eiserne Säulen und Träger nicht mehr als feuersicheres Baumaterial angesehen; die Säulen knicken in der Hitze aus und die Träger schlagen sich im glühenden Zustande durch oder

schieben durch ihre Verlängerung die Aussenwände aus einander. Demgegenüber sind Hochbauten in Betoneisenbauweise feuersicher, denn bei ihnen ist das Eisen durch den einhüllenden Beton wirksam gegen die Einwirkung des Feuers geschützt.

Von dem Vorstand der deutschen allgemeinen Ausstellung für Unfallverhütung wurden im Jahre 1893 Brandproben ausgeführt, wozu 19 Firmen Konstruktionen lieferten. Während Granitstufen zersprangen und herabfielen, Stufen in Eisenkonstruktion an der Wand herabhingen, haben sich die Monier-Treppen und -Gewölbe tadellos bewährt.

An Betoneisendecken lassen sich Transmissionen an allen Punkten, an Nebenträgern, Hauptträgern und Säulen anbringen. Auch hierfür ist ein Beispiel abgebildet (S. 147). Erschütterungen sind selbst bei schnelllaufenden Maschinen kaum bemerkbar.

Schwingungs-Beobachtungen bei Fallproben, die von der französischen Westbahn angestellt wurden, haben ergeben, dass trotz des um ein Drittel geringeren Eigengewichts unter Einwirkung einer viermal grösseren lebendigen Kraft eine für dieselben Lasten berechnete Decke aus armiertem Beton nur ein Sechstel der Schwingungsgrösse und ein Drittel der Schwingungsdauer gezeigt hat, als eine gewöhnliche Ziegeldecke zwischen I-Trägern.

Gewölbe.

Die Armierung der ebenen Platte, also das einfache Moniergeflecht, kann in gleicher Weise als Eiseneinlage für kleinere Gewölbe gewählt werden. Bei parabolischer Bogenform und gleichmässiger Belastung, überhaupt in allen Fällen, wo keine biegenden Momente auf das Gewölbe einwirken können, genügt ein Geflecht nahe der inneren Laibung. Meistens ist eine solche Armierung jedoch ungenügend, indem sich die Notwendigkeit einer zweiten Einlage im Rücken ergiebt, welche vom Kämpfer bis über die sogen. Bruchfuge hinläuft. Bei Brückengewölben, die sehr veränderlichen Belastungen ausgesetzt sind, werden die Rundeiseneinlagen an der Laibung und dem Rücken des Gewölbes ganz durchgeführt.

In Oesterreich bestehen mehrere grosse Strassenbrücken in dieser Betoneisenbauweise. Auch in Deutschland ist eine grosse Anzahl derartiger gewölbter Betoneisenbrücken erbaut worden. Unter Eisenbahngeleisen sind verschiedene Betoneisengewölbe, z. B. in der österreichischen Südbahn und der Moselbahn, ausgeführt worden.

Beim Gewölbe System Melan ist die Zah der Tragstäbe vermindert, die dagegen einen grösseren Querschnitt in Form eines Trägerprofils erhalten, während die Verteilungsstäbe zurücktreten oder ganz verschwinden. Es ist also das Gewölbe aus einer Reihe paralleller eiserner Bogen gebildet, die ganz in Beton eingeschlossen sind. In den Deckengewölben und kleineren Konstruktionen bestehen

die eisernen Bogen aus ⊥-Eisen, Schienen oder vollwandigen I-Profilen und sind nur an den Kämpfern mit einander verbunden.

Bei grösseren Stützweiten und zunehmender Bogenstärke werden die Bögen als Gitterwerk ausgeführt und unter sich durch Traversen verbunden.

Versuche des österreichischen Ingenieur- und Architekten-Vereins, bei denen Gewölbe von 23 m Spannweite aus Bruchstein, Ziegeln, Stampfbeton und Eisenbeton untersucht wurden, haben ergeben, dass die gemessenen Formänderungen bei dem Eisenbeton-Gewölbe genau nach der Theorie des elastischen Bogens ohne Kämpfergelenke erfolgten, dass ferner die Betoneisengewölbe bei gleicher Tragfähigkeit wesentlich geringerer Stärke bedürfen, als andere Gewölbegattungen.

Weitere Anwendungsgebiete der Betoneisenkonstruktionen.

Es ist klar, dass mit den verschiedenen Elementen der biegungsfesten Platte, des Balkens, der Säule und des Gewölbes sehr verschiedene Konstruktionen zu allen möglichen Zwecken gebildet werden können.

Wenn wir von den Monierröhren absehen, die eigentlich zu den Cementwaren gehören, so finden wir alle Arten von Flüssigkeitsbehältern, z. B. halbkugelförmige oder cylindrische Reservoire für Wasserversorgungen, Darrgewölbe, Lohgruben, Silos, Holländer, Abtropfkasten, Rührbütten, Klärbassins, Säurebehälter usw. für industrielle Anlagen.

Die Betoneisenplatte spielt eine wichtige Rolle auch bei Gründungen auf schlechtem Baugrund. Auch die L-förmige Stützmauer besteht aus Betoneisenplatten, die durch Rippen gegeneinander abgesteift sind und ihre Standfestigkeit infolge Belastung der horizontalen Platte durch die Hinterfüllung erhalten.

Als neueste Anwendung sei die Herstellung von Pfählen und Spunddielen aus armiertem Beton erwähnt, die zu Quaibauten schon mehrfach in ausgedehntem Masse angewendet wurden.

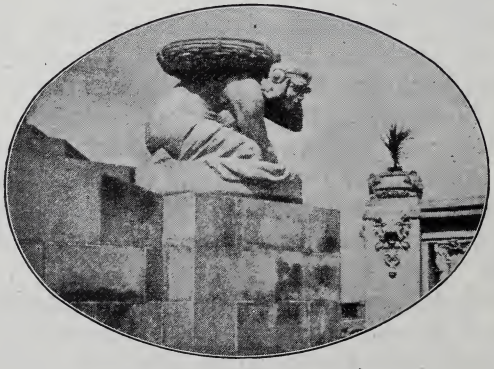
Die verschiedenen Arten von Treppen können auf verschiedene Weise in Betoneisen ausgeführt werden; entweder werden Moniergewölbe zwischen die Podestträger gespannt und die Stufen aufbetoniert oder es können besondere Wangenträger in Betoneisen vorhanden sein; endlich können auch gewundene Läufe und freitragende Treppen hergestellt werden.

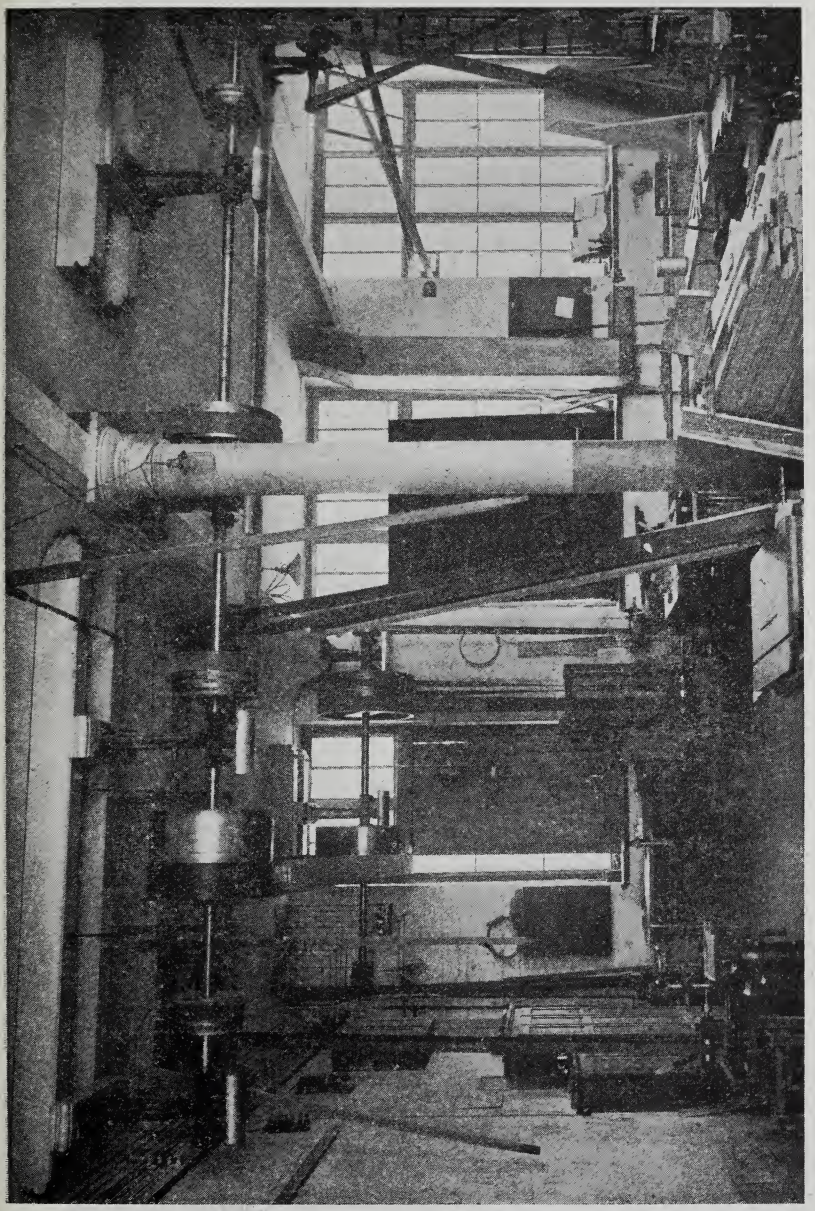
Wenn auch für die Theorie der Betoneisenkonstruktionen heute noch nicht so allgemein gültige Normen aufgestellt sind wie für diejenige der Eisenkonstruktionen, so sei doch hervorgehoben, dass von den ältesten Firmen, die sich mit Betoneisenbau befassen, die Berechnung der Konstruktionsteile nach bewährten und theoretisch richtigen Methoden erfolgt. Berücksichtigt man, dass der Zweck jeder statischen Berechnung weniger die genaue Ermittelung der in einer Konstruktion

bei irgend welcher Belastung auftretenden Spannungen als vielmehr der Nachweis eines hinreichenden Sicherheitsgrades bilden soll, so müssen die Zugspannungen des Betons schon aus dem Grund ausser Betracht bleiben, weil seine Zugfestigkeit nur bis zur Elastizitätsgrenze des Eisens reicht, also vor Erreichung der Bruchlast längst versagt. Mit derselben Sorgfalt wie die inneren Spannungen müssen auch die äusseren Kräfte ermittelt werden, wobei besonders zu berücksichtigen ist, ob eine Platte oder ein Balken an den Enden frei aufliegend, vollkommen oder teilweise eingespannt, oder aber durchlaufend anzunehmen ist. Hier liegen die Verhältnisse meist nicht so einfach wie bei den Eisenkonstruktionen; umsomehr ist daher eine theoretische und sorgfältige Projektbearbeitung geboten, die nur durch wissenschaftlich gebildete und erfahrene Techniker geleistet werden kann.

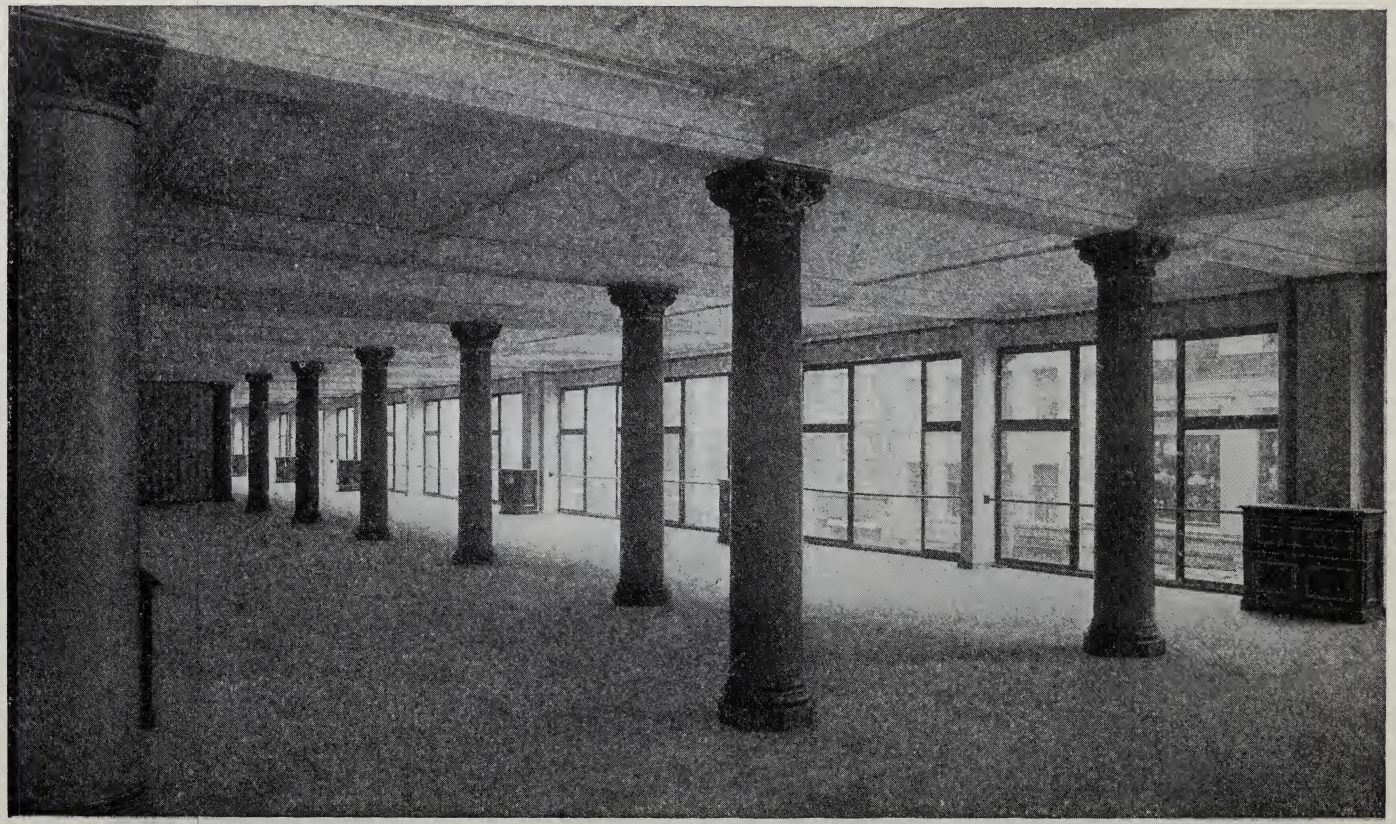
Nicht geringere Sorgfalt ist aber auch auf die Ausführung zu verwenden; neben der Auswahl nur erstklassiger Materialien, Cement, Kies und Sand, und der Einhaltung eines geeigneten Mischungsverhältnisses sind bei der Ausführung von Betoneisenbauten so viele Vorsichtsmassregeln zu beobachten, dass derartige Bauten nur von Spezialfirmen mit der nötigen Sicherheit erstellt werden können.

In dieser Hinsicht gilt von den Betoneisenbauten dasselbe, wie von den Eisenkonstruktionen; wie man hier die eisernen Brücken z. B. nur durch bestimmte Brückenbauanstalten ausführen lässt, so ist man auch dort darauf angewiesen, sich an bestimmte Firmen zu halten, die für Entwurf und Ausführung über die nötige Kenntnis und Erfahrung verfügen.

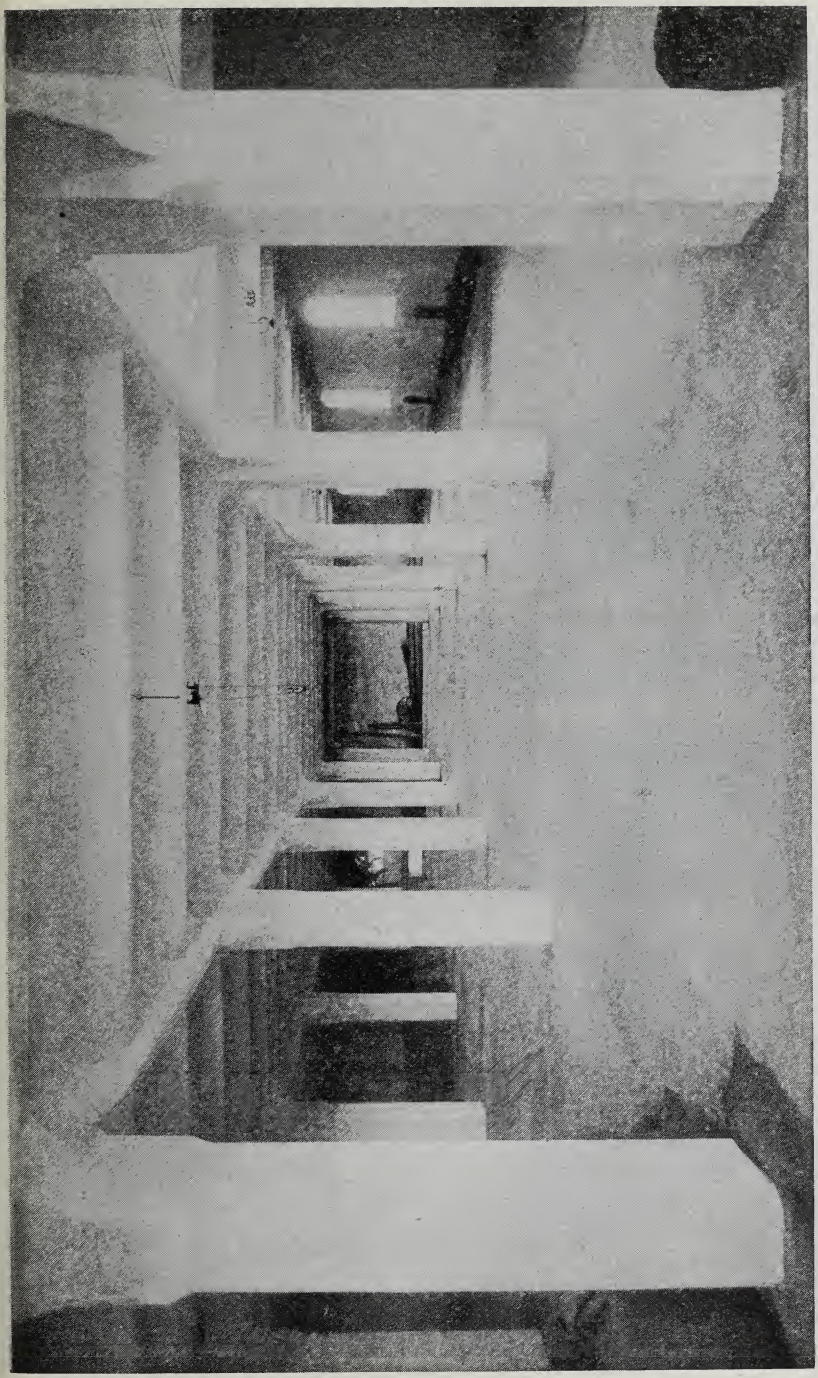




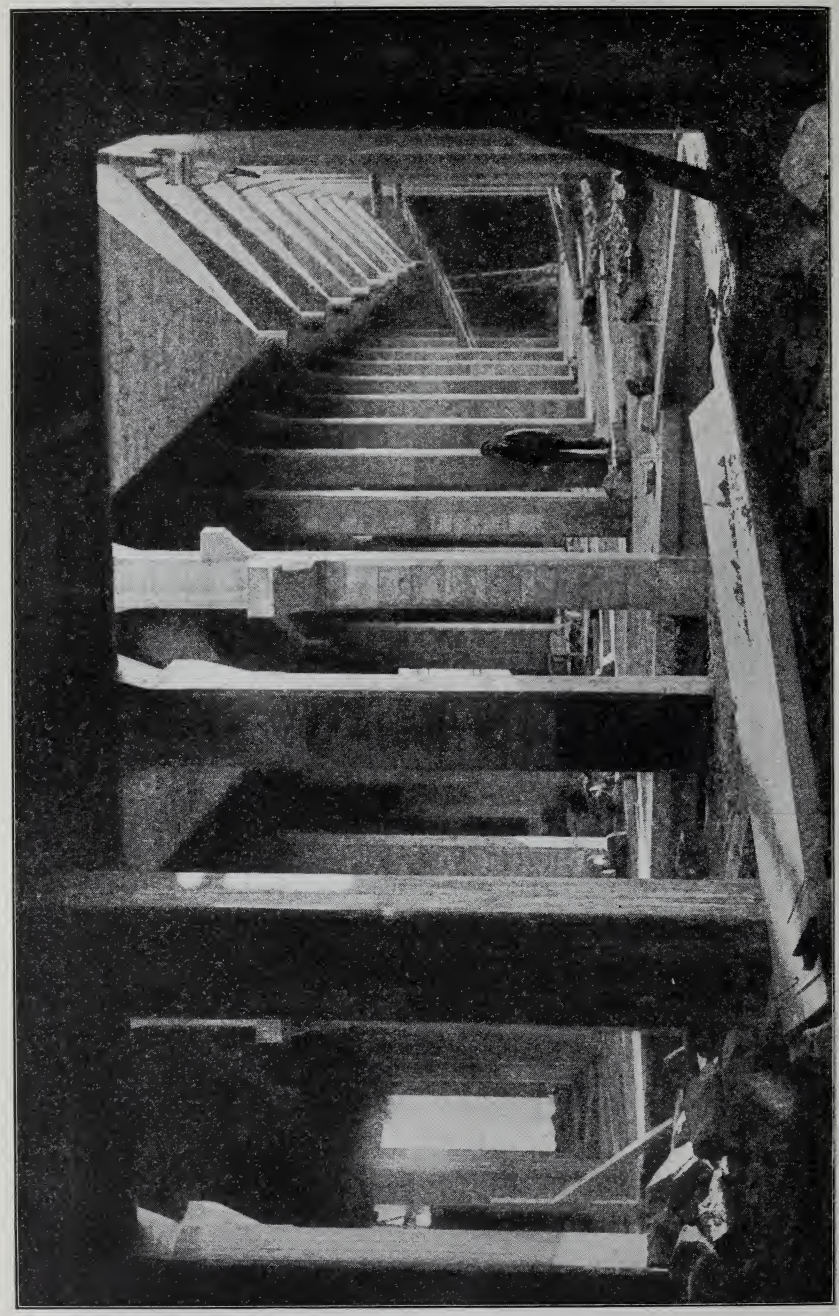
Fabrikraum mit Koenenscher Voutendecke.



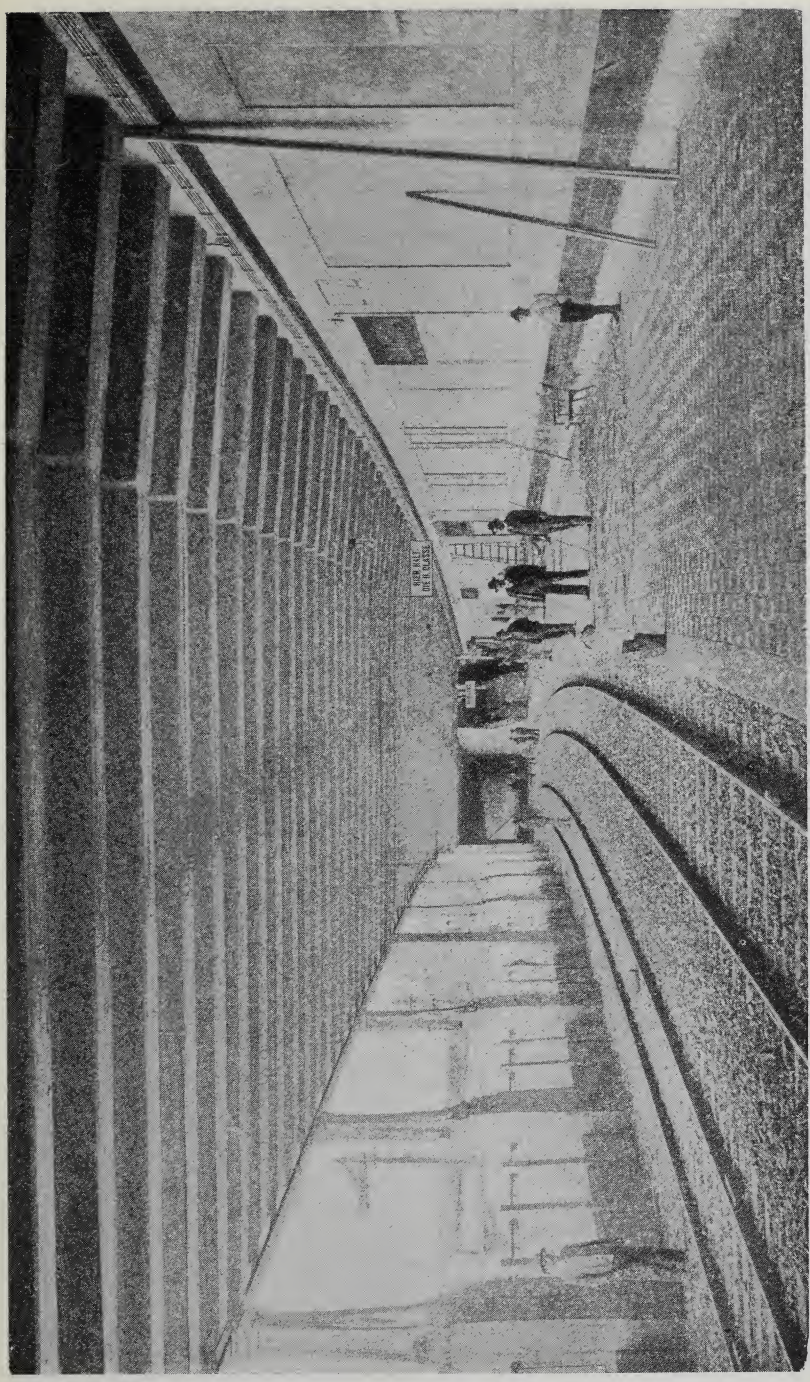
Koenensche Voutenplattendecke im Geschäftshaus „Alte Post“ Berlin.



Decke im Mälzereigebäude C. Gregory, Spandau, für 2000 kg/qm Nutzlast.



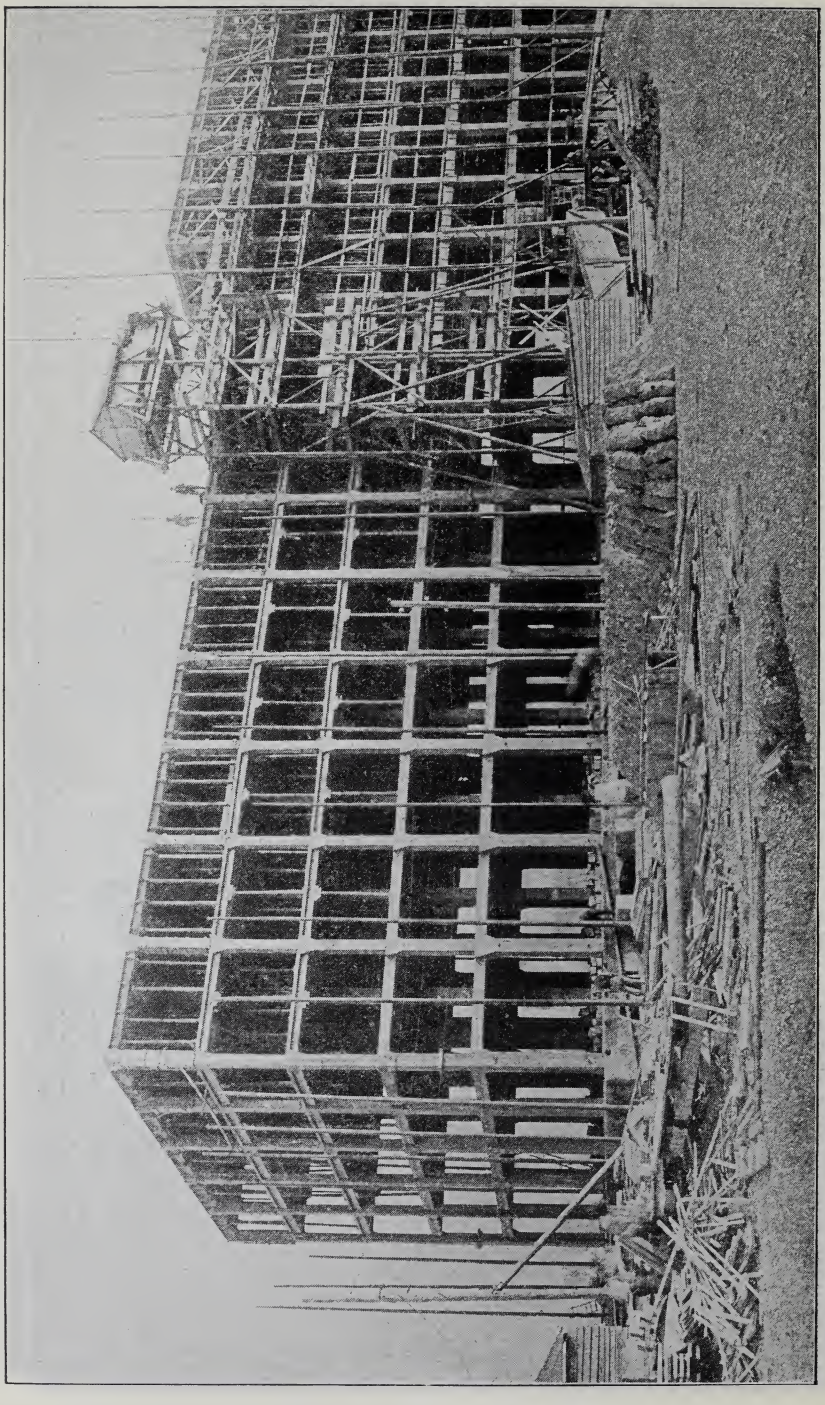
Silobau aus Cementeisenkonstruktion. Strassburg.



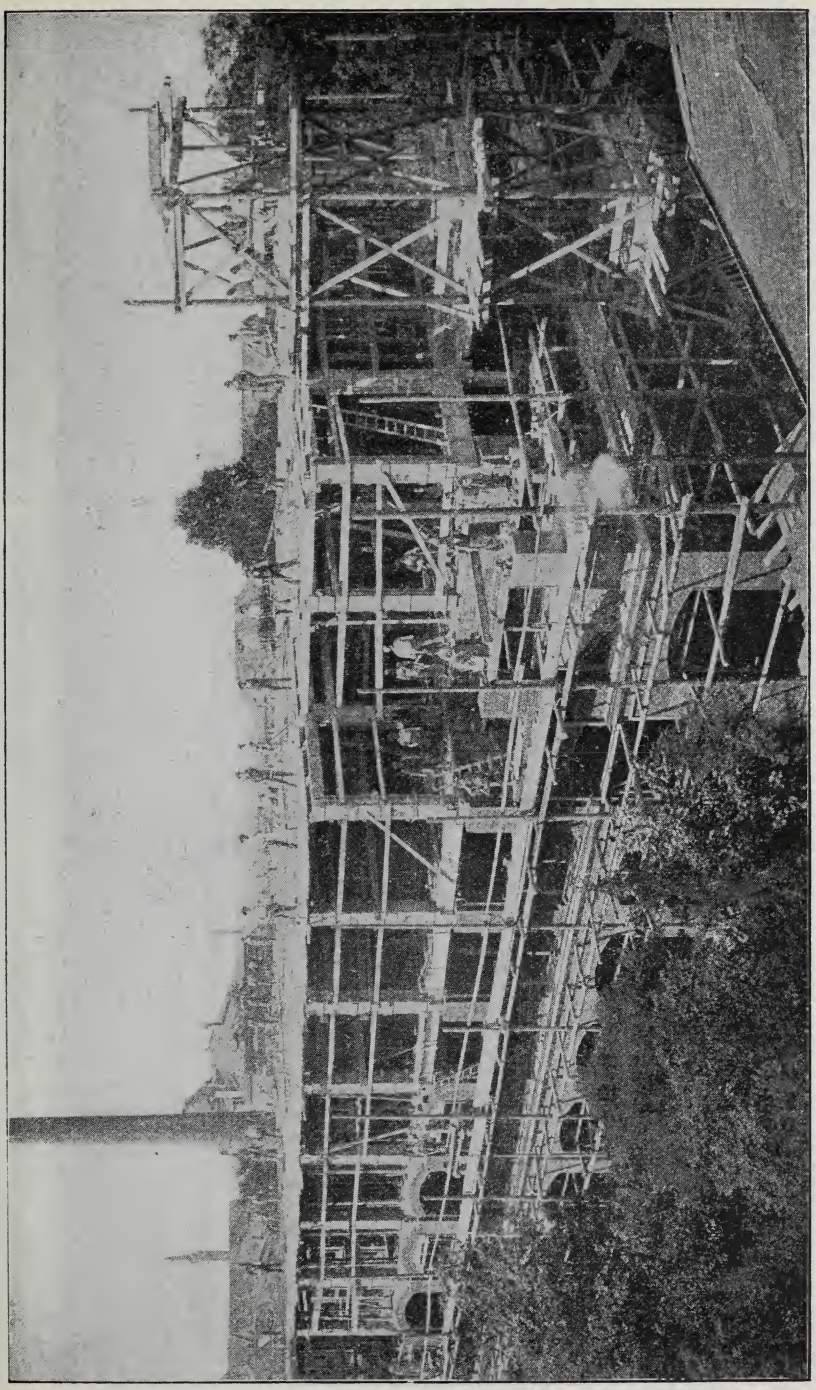
Deckenkonstruktion der Wiener Stadtbahn. Donaukanallinie-Ferdinandsbrücke. Spannweite 12,7 m.

Frei gespannte Monier-Kirchengewölbe in der Apostelkirche zu Dortmund.

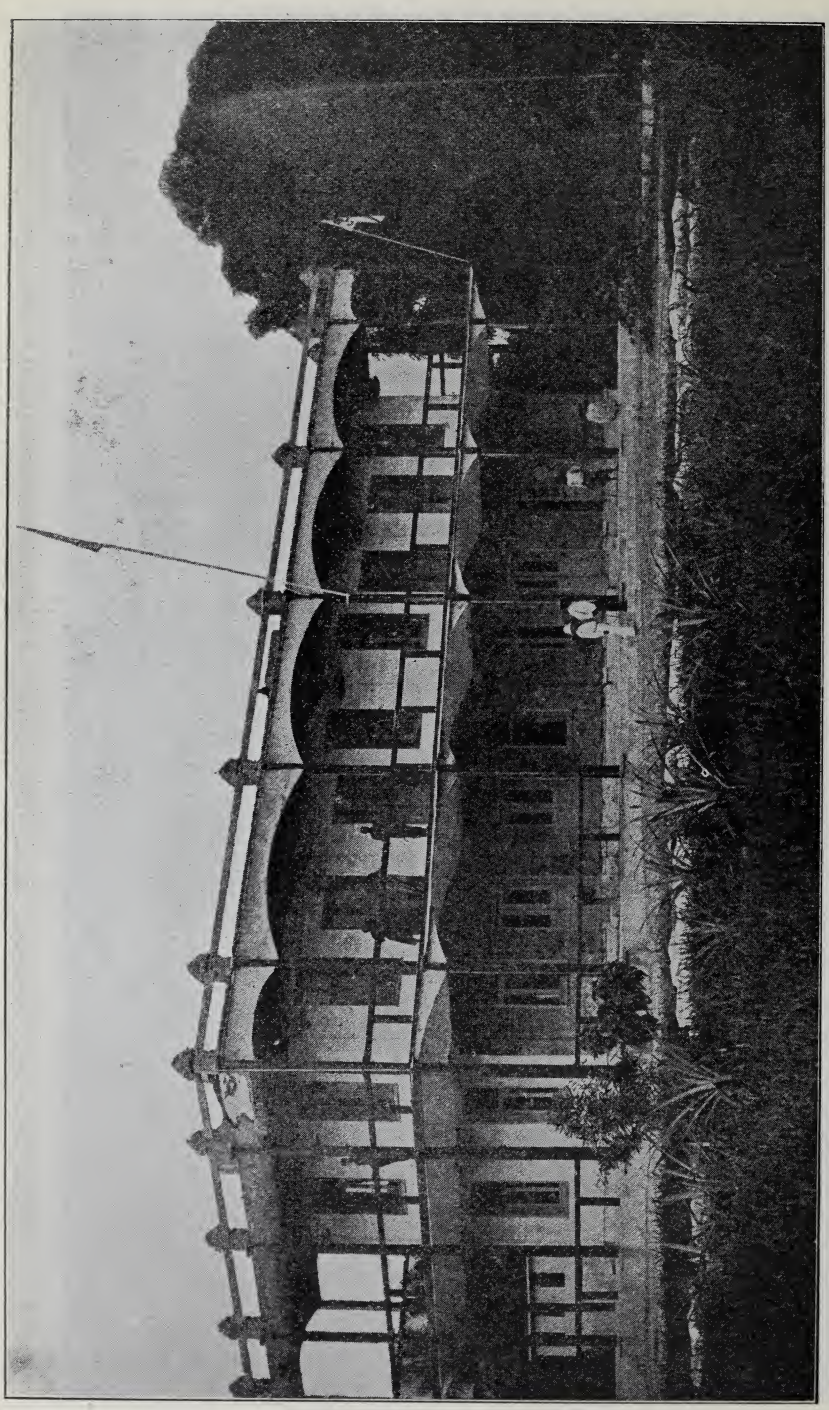
Wasserturm der städtischen Wasserwerke Wandsbeck bei Hamburg.
Ummantelung des Wasserbehälters nach System Monier.



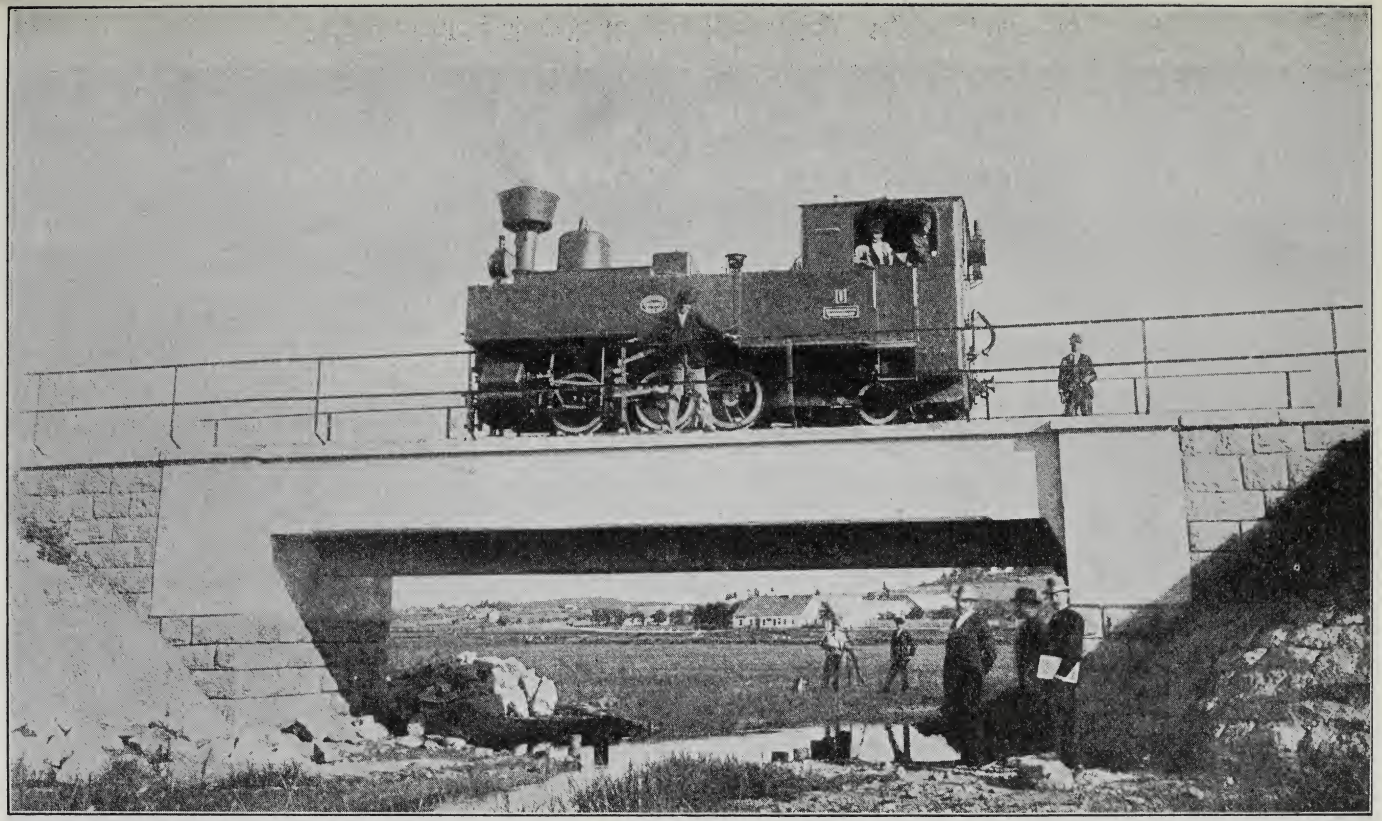
Lagerhaus in Eisenbeton, Strassburg i. E.



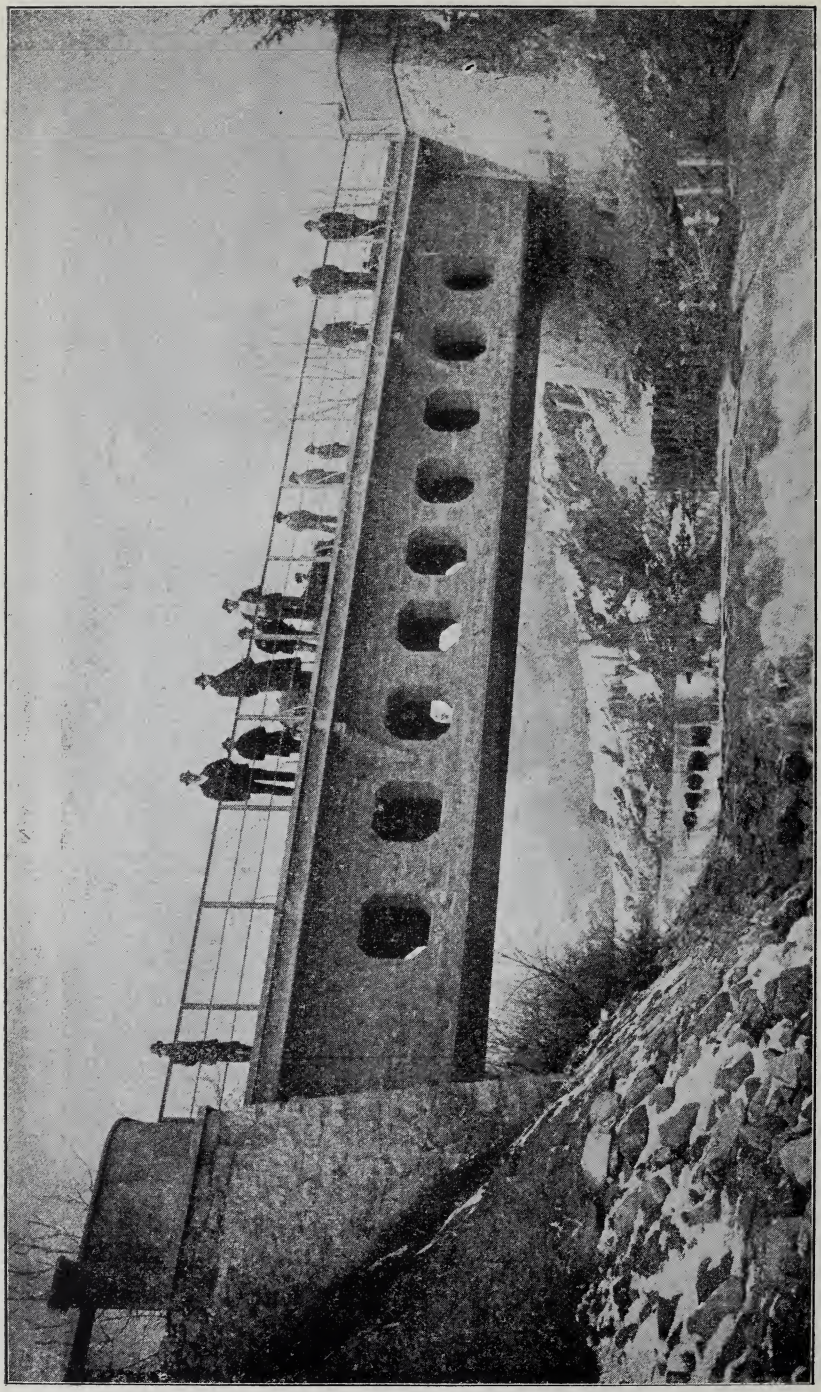
Bau eines Geschäftshauses für Enslin & Laiblin in Cementeisenkonstruktion. Reutlingen.



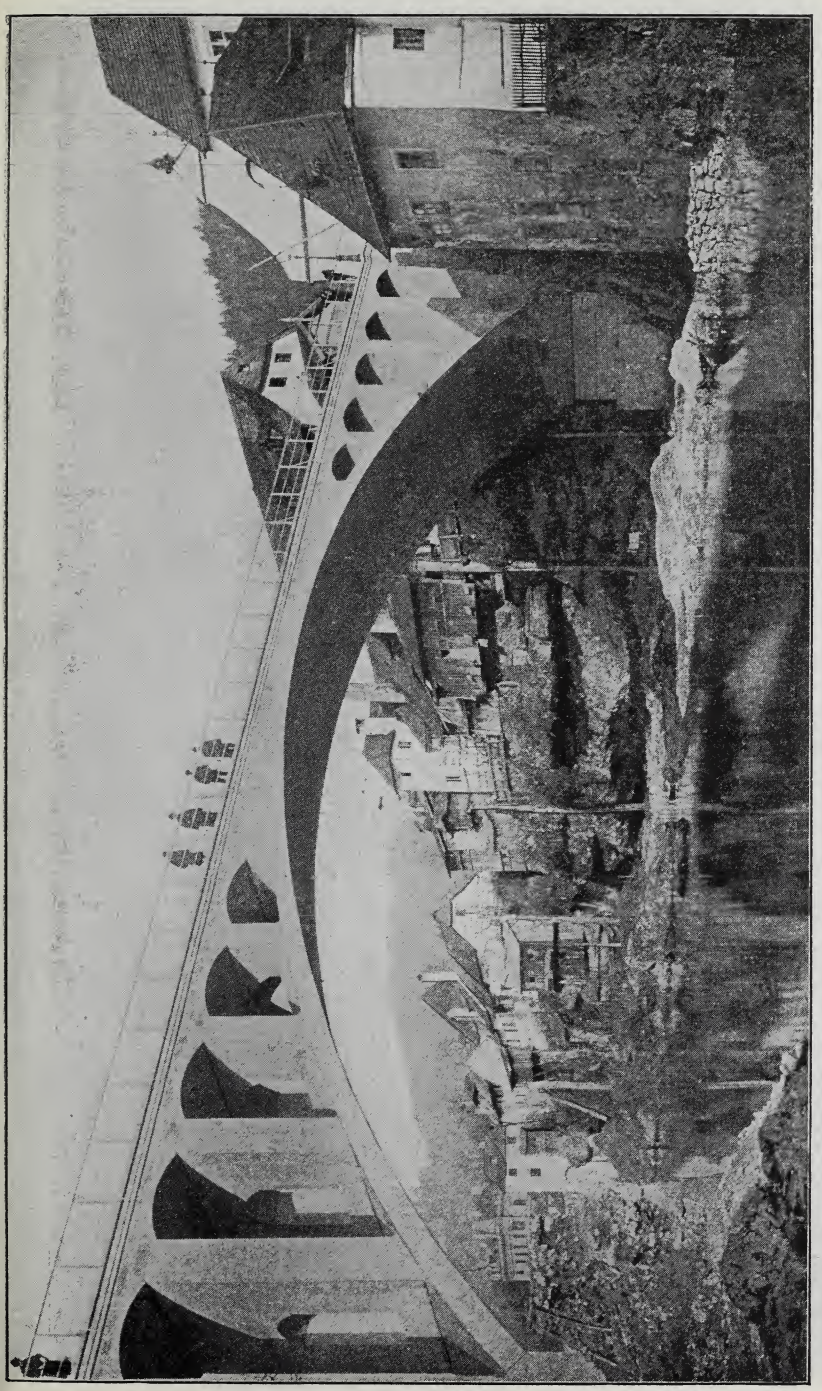
Kaiserliches Verwaltungsgebäude nebst Zellengefängnis in Kamerun, ausgeführt in Monierkonstruktion.



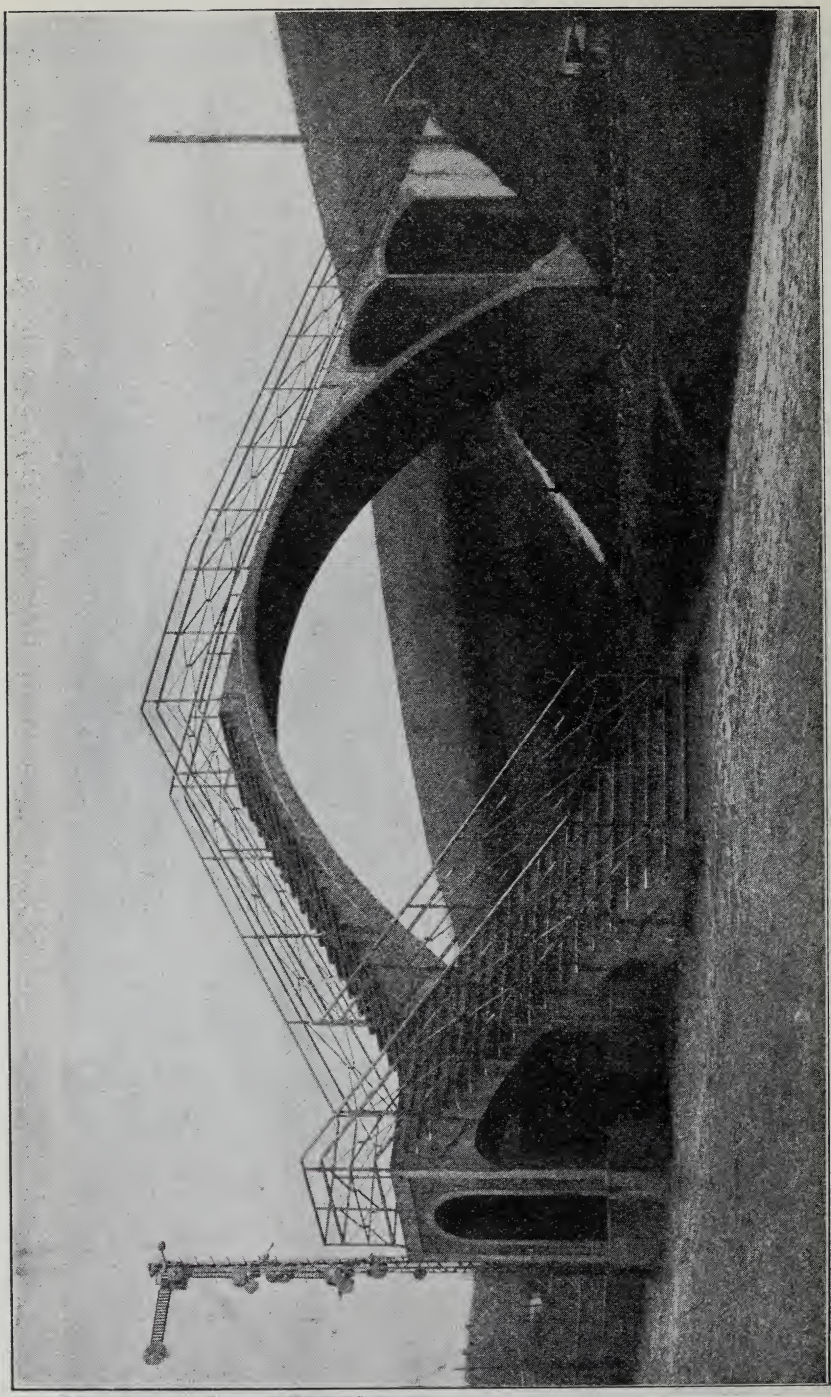
Eisenbahnbrücke über den Braunaubach der Niederösterreichischen Waldviertelbahn. Ebene Betoneisenkonstruktion Spannweite 12 m.



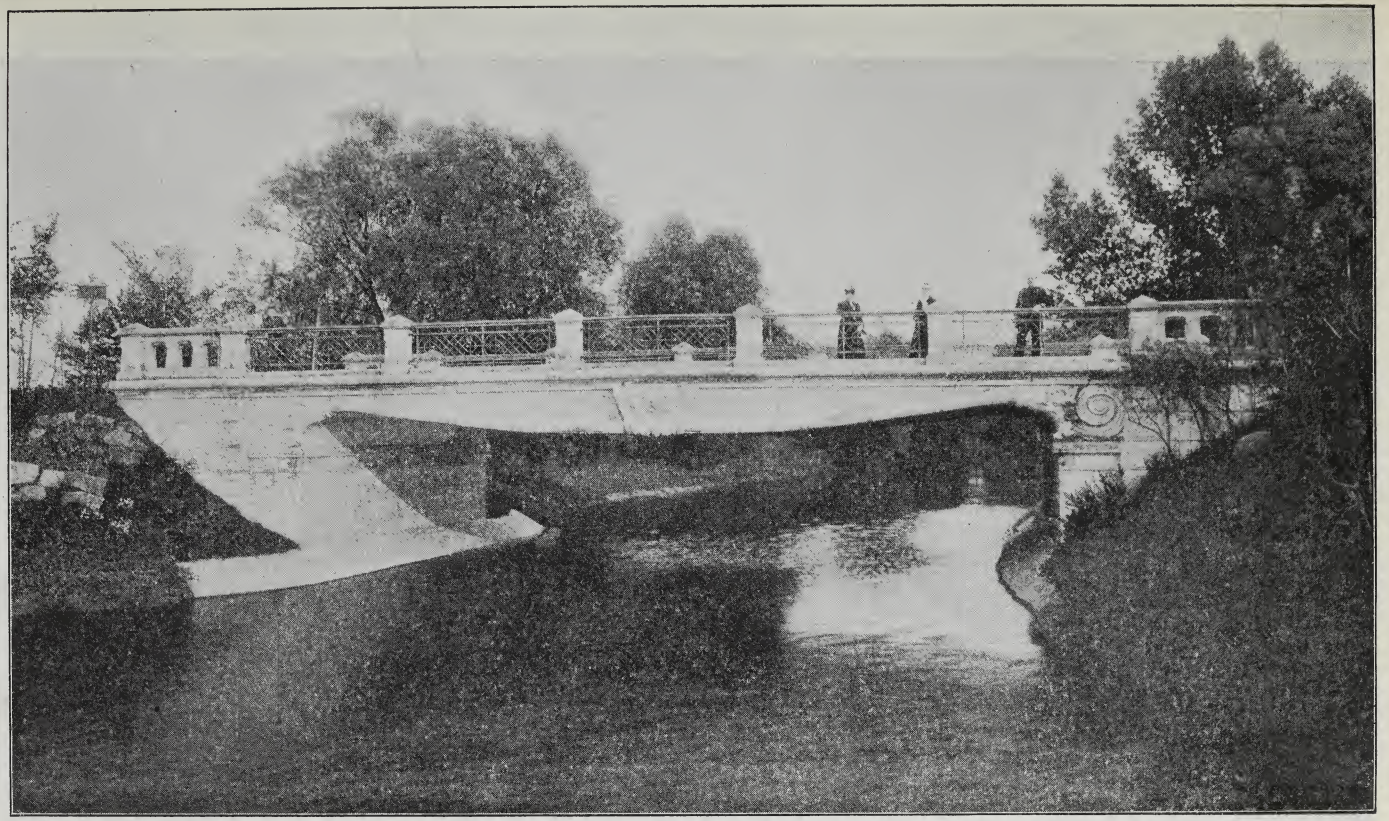
Betoneisenbrücke über die Krapina (Oesterreich). 19,3 m Spannweite.



Zeller Hochbrücke über die Ybbs. Spannweite des Hauptbogens 44 m, Seitenöffnung 21 m.



Fusswegüberführung der Fischbachbahn. Neunkirchen-Saarbrücken.



Strassenbrücke über die taube Elbe in Magdeburg. System Möller.

Uferschutz mit Cementerdankern, System Möller, Holtenau-Friedrichsort bei Kiel.

V. Grundzüge für die statische Berechnung der Beton- und Betoneisenbauten.*)

a. Beton.

1. Einleitung.

Bis in die neueste Zeit wurden Pfeiler, Gewölbe, Platten usw. aus Beton nach denselben Grundregeln berechnet, wie solche für gewöhnliches Ziegelmauerwerk seit längerer Zeit allgemein üblich sind.

Obschon letztere durchaus nicht als einwandsfrei bezeichnet werden können, begnügt man sich doch mit dem dadurch erreichten Sicherheitsgrad, insofern die Stärkeabmessungen so bestimmt werden, dass die Stand- und Bruchfestigkeit ohne Mitwirkung etwa entstehender Zugspannungen, vielmehr lediglich durch Ausnutzung des sicher vorhandenen Druckwiderstandes gewährleistet ist. Für Kalkmörtelmauerwerk mag diese Berechnungsweise nach wie vor ihre alleinige Berechtigung haben. Für Cementmörtel jedoch, auch gutes verlängertes Cementmörtelmauerwerk, besonders aber für Cementbeton mit verhältnismässig hoher Zugfestigkeit dürfen die bei gewissen Beanspruchungen entstehenden Zugspannungen für die Stand- und Bruchsicherheit mit in Rechnung gezogen werden; ja in einigen später zu erörternden Fällen wird es sogar nötig, die Grösse der entstehenden Zugspannungen zu ermitteln.

2. Druck.

α) centrischer Druck.

Bezeichnet P die Mittelkraft (Resultierende) der auf den Querschnitt eines stabförmigen Betonkörpers mit der Querschnittsfläche F wirkenden gleichmässig verteilten Druckkräfte, σ die in demselben erzeugte Druckspannung für die Flächeneinheit, so wird

$$\sigma = \frac{P}{F} \qquad 1)$$

*) M. Koenen, Centralblatt der Bauverwaltung 1902. – Berechnung der Plattenbalken von Reg.-Baumeister Mörsch für Wayss & Freytag A. G., Neustadt a. Hdt.

Hierbei fällt der Mittelpunkt des Drucks oder der gedachte Angriffspunkt der Mittelkraft mit dem Schwerpunkt des Querschnitts zusammen, weshalb ein solcher Druck auch „centrisch“ oder „axial“ genannt wird.

Der Körper erleidet unter der Einwirkung solcher Druckkräfte eine mehr oder weniger elastische Zusammenpressung; für ein Körperelement, dessen Länge gleich der Längeneinheit, ist diese, also die specifische Zusammenpressung

2) $$\varepsilon = \alpha\, \sigma^m$$

in welchem Ausdruck der Coefficient α und der Exponent m von der Art des Materials (hier also der Zusammensetzung und Verarbeitung des Betons) abhängig sind; α kann als specifische Zusammenpressung unter der Spannungseinheit aufgefasst werden; m, für Beton wechselnd zwischen 1,10 bis 1,20, also stets etwas grösser als 1, zeigt dadurch an, dass die elastischen Längenänderungen nicht, wie bei Schmiedeeisen und Stahl, in gleichem Verhältnisse mit den Spannungen, sondern etwas stärker wachsen als letztere.

C. Bach, der diese Begriffsbestimmung an Stelle des früher üblichen, weniger verständlichen Elasticitätsmoduls eingeführt hat, giebt für α und m die nachstehenden, je nach der Zusammensetzung des Betons verschiedenen, aus zahlreichen Versuchen hervorgegangenen Mittelwerte, welche innerhalb der für die Technik in Betracht kommenden Spannungsgrenzen als gültig anzusehen sind:

Körper aus:

reinem Cement $\alpha = \frac{1}{250\,000}$; m = 1,09

Cementmörtel

1 Cement, $1\frac{1}{2}$ Donausand $\alpha = \frac{1}{356\,000}$; m = 1,11

1 „ 3 „ $\alpha = \frac{1}{315\,000}$; m = 1,15

1 „ $4\frac{1}{2}$ „ $\alpha = \frac{1}{230\,000}$; m = 1,17

Körper aus Beton:

1 Cement, $2\frac{1}{2}$ Donausand, 5 Donaukies $\alpha = \frac{1}{298\,000}$; m = 1,145

1 „ $2\frac{1}{2}$ Eggingersand, 5 Kalksteinschotter $\alpha = \frac{1}{457\,000}$; m = 1,157

1 „ 5 Donausand, 6 Donaukies $\alpha = \frac{1}{280\,000}$; m = 1,137

1 Cement, 3 Donausand, 6 Kalksteinschotter $\alpha = \frac{1}{380\,000}$; m = 1,161

1 „ 5 Donausand, 10 Donaukies $\alpha = \frac{1}{217\,000}$; m = 1,157

1 „ 5 Eggingersand, 10 Kalksteinschotter $\alpha = \frac{1}{367\,000}$; m = 1,207

β) Excentrischer Druck.

Fällt der Mittelpunkt des Drucks nicht mit dem Schwerpunkt des Querschnitts zusammen, so entsteht neben dem gleichmässig verteilt gedachten Schwerpunktsdruck noch ein Moment mit Biegungswirkung, d. h. mit Druck- bezw. Zugspannungen, welche vom Schwerpunkte ab in gleichgespannten parallelen, zur Biegungsebene senkrechten Querschnittsschichten proportional deren Abstand vom Schwerpunkte zunehmen, also auf der Druckseite vermehrte, auf der entgegengesetzten Seite verminderte Druckspannung zur Folge haben. Ein zwischen zwei Brettchen gefasstes, excentrisch gedrücktes Stück Gummi veranschaulicht den dann vorliegenden Spannungszustand, indem es auf der Druckseite (in der Nähe der Druckmittelkraft) mehr zusammengepresst erscheint als auf der anderen.

Bezeichnet e den Abstand des Druckmittelpunkts vom Schwerpunkt, W das Widerstandsmoment des Querschnitts gegen eine zur Verbindungslinie der gedachten beiden Punkte senkrechte Schwerpunktsachse, so wird unter der Voraussetzung, dass der Abstand e eine gewisse Grenze (den sogenannten Centralkern des Querschnitts) nicht überschreitet, in dem am stärksten gedrückten Punkte am Rande die Druckspannung

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{Pe}{W} \qquad 3)$$

und in dem am wenigsten gedrückten Punkte am entgegengesetzten Rande

$$\sigma = \frac{P}{F} - \frac{Pe}{W}; \qquad 4)$$

diese wird, wie ersichtlich, = o, wenn $\frac{Pe}{W} = \frac{P}{F}$ oder $e = \frac{W}{F}$, woraus sich die Lage der Kerngrenze bestimmen lässt.

Liegt der Druckmittelpunkt ausserhalb dieser Kerngrenze, die beispielsweise für rechteckige Mauer- oder Gewölbequerschnitte, die rechtwinklig zu einer Seite auf Biegung beansprucht werden, nur das mittlere Drittel umfasst, so entstehen am jenseitigen Rande Zugspannungen, die bei Cementbeton unter Beobachtung der gebotenen Sicherheit mit in Ansatz gebracht werden dürfen; die aber durchaus berücksichtigt werden müssen, wenn es sich um die Dichtigkeit des Betons in gezogenen Schichten handelt; denn zu grosse Zugspannungen würden Risse zur Folge haben, die dem Wasser usw. den Eintritt gestatten.

Ausser bei axial oder innerhalb des Centralkerns excentrisch gedrückten Mauern oder Pfeilern treten reine Druckspannungen noch in der Form von Tangentialspannungen auf, welche bei Behältern mit einfach oder doppelt gekrümmten Wandungen durch äusseren Wasser- oder Erddruck erzeugt werden, oder bei Gewölben, welche beständig die gleiche Last tragen und nach der Gleichgewichtskurve geformt sind.

Dasselbe gilt von reinen Zugspannungen, welche in Folge von Normaldrücken auf die concave Seite gekrümmter Umfassungswände von Behältern oder dergleichen entstehen. Die Verteilung solcher Tangentialdruck- oder Zugspannungen über die Wandstärke lässt sich unter Anwendung der Bach'schen Versuche über das elastische Verhalten von Betonkörpern auf die Lamé'sche Theorie ermitteln, deren Entwickelung hier zu weit führen dürfte.

3. Biegung.

α) genaue Berechnungsweise.

Ein auf Biegung beanspruchter stab- oder plattenförmiger Betonkörper sei an irgend einem Querschnitt angegriffen durch ein Biegungsmoment von der Grösse M. Die durch dasselbe hervorgerufene elastische Formänderung zeigt sich, wie bei allen elastischen Körpern, teils als Zusammenpressung teils als Dehnung der durch je zwei benachbarte Querschnitte begrenzten Körperscheiben (Fig. 43 u. 44), und zwar ist an den äusseren Rändern jeder Scheibe die Zusammenpressung bezw. Dehnung am grössten; nach dem Innern der Scheibe hin nehmen die Längenänderungen ab, um an einer gewissen Stelle durch Null in einander überzugehen. Diese Stelle nennt man ihres neutralen Verhaltens wegen die „neutrale Schicht" oder Nullinie. Da aber durch Beobachtung festgestellt ist, dass nach der Formänderung die Querschnitte noch eben und rechtwinklig zur alsdann gebogenen Mittelaxe des Stabes (bezw. der Platte) bleiben, wie Fig. 43 andeutet, so ist die in Fig. 44 dargestellte Seitenansicht (bezw. der Schnitt) einer Scheibe aus dem Rechteck in das durch punktierte Linien angedeutete Trapez übergegangen.

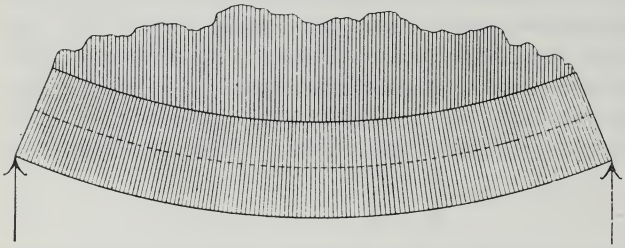


Fig. 43.

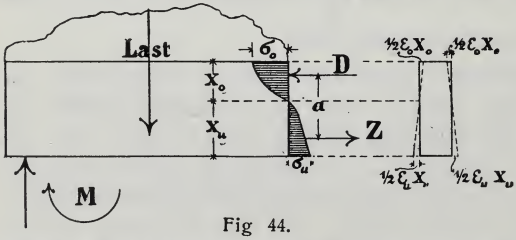


Fig 44.

Die Spannungen, als Ursache der so gekennzeichneten Längenänderungen, sind natürlich auf der zusammengepressten Seite Druck- und auf der gedehnten Seite Zugspannungen. Sie sind parallel zur Stabachse gerichtet und haben nach dem in Gl. 2 angegebenen Formänderungsgesetze einen genau feststellbaren, etwa wie in Fig. 44 durch wagerechte Strichelung angedeuteten Verlauf.

Die Summen D und Z der so dargestellten Druck- bezw. Zugspannungen müssen, falls auf das abgetrennt gedachte Stab- oder Plattenstück weitere zur Stabachse parallele Kräfte nicht wirken, zum Gleichgewicht gegen Bewegung in der Stabachsenrichtung einander gleich sein, also $D = Z$ 5)

Ferner ergeben die Mittelkräfte D und Z bei dem Abstand a (Hebelsarm a) ein Kräftepaar Da oder Za, welches als das Moment der inneren widerstehenden Spannungen d. i. als Widerstandsmoment dem Angriffsmoment M gleich sein muss, wenn keine weitere als die bereits durch die Biegung hervorgebrachte Drehung des abgetrennt zu denkenden Stab- oder Plattenstücks eintreten soll; also $M = Da = Za$ 6)

Für die weitere Behandlung dieser Aufgabe sei ein wagerecht gelagerter Stab oder Platte von rechteckigem Querschnitt mit Höhe h und Breite b ins Auge gefasst, welche nur von lotrecht gerichteten Kräften (Lasten und Auflagerdrücken) angegriffen und durch einen beliebigen Querschnitt in zwei Stücke abgetrennt sei, von denen eines durch Fig. 44 dargestellt sein möge. Es sind nun in der Hauptsache die am oberen und unteren Rande des Querschnitts auftretenden grössten, aber noch unbekannten Druck- bezw. Zugspannungen σ_o bezw. σ_u rechnungsmässig festzustellen. Zu diesem Zwecke führen wir ausser diesen beiden Unbekannten noch die Hilfsunbekannten x_o und x_u als die unbekannten Abstände der neutralen Schicht vom obern bezw. untern Rande sowie die Grössen ε_o bezw. ε_u als die gleichfalls unbekannten spezifischen Längenänderungen im beiderseitigen Abstand 1 von der neutralen Schicht ein; die entsprechenden Längenänderungen am Rande besitzen danach die unbekannten Werte $\varepsilon_o x_o$ bezw. $\varepsilon_u x_u$.

Zur Auffindung der so gekennzeichneten 6 Unbekannten gehören bekanntlich ebensoviel Gleichungen, die sich folgendermassen aufstellen lassen:

1. eine rein geometrische, lautend $x_o + x_u = h$
2. eine gleichfalls geometrische, aus der Formänderung abgeleitete, lautend $\varepsilon_o = \varepsilon_u$
3. und 4. zwei aus der Beziehung zwischen Spannung und Längenänderung abgeleitete Gleichungen, lautend (vergl. Gl. 2 Seite 164)

$$\overset{m}{\sigma_o} = \frac{1}{\alpha} \varepsilon_o x_o \qquad \overset{m_1}{\sigma_u} = \frac{1}{\alpha_1} \varepsilon_u x_u$$

In letzterer Gleichung haben α_1 und m_1 eine ähnliche Bedeutung in Bezug auf Dehnung und Zugspannung wie früher α und m in Bezug auf Zusammenpressung und Druckspannung.

Die 5. und 6. Gleichung sind durch die oben erörterten beiden Gleichgewichtsbedingungen gegeben, deren Kräfte D und Z und deren Moment noch näher zu berechnen sind.

Hierzu bezeichne σ die Spannung an irgend einem Punkte des Querschnitts und des zu demselben gehörigen Flächenelementchens d F mit dem Abstand x von der neutralen Schicht, dann ist zunächst auf der Druckseite

$$\sigma^m = \frac{1}{\alpha}\,\varepsilon_o\,x$$

und demnach mit Benutzung der 3. Gleichung

$$\frac{\sigma^m}{\sigma_o^m} = \frac{x}{x_o}$$

Es verhalten sich also bei Beton die Spannungen in der m^{ten} Potenz wie die Abstände von der neutralen Schicht. Bei Körpern, für welche $m = 1$, wie z. B. Schmiedeeisen und Stahl, ergiebt diese Formel das bekannte der Navier'schen Biegungstheorie zu Grunde liegende Proportionalitätsgesetz. Aus obiger Gleichung folgt

$$\sigma = \sigma_o \sqrt[m]{\frac{x}{x_o}}$$

und demnach

$$D = \int_{x=o}^{x=x_o} \sigma\,dF = \frac{\sigma_o}{\sqrt[m]{x_o}} \int_{x=o}^{x=x_o} dF\,\sqrt[m]{x}$$

Ebenso wird

$$Z = \frac{\sigma_u}{\sqrt[m_1]{x}} \int_{x=o}^{x=x_u} dF \,.\, \sqrt[m_1]{x}$$

Mit $dF = b\,dx$ geht die Gleichung $D = Z$ über in

$$\frac{\sigma_o\,b}{\sqrt[m]{x_o}} \int_o^{x_o} x^{\frac{1}{m}}\,dx = \frac{\sigma_u\,b}{\sqrt[m_1]{x_u}} \int_o^{x_u} x^{\frac{1}{m_1}}\,dx \quad \text{oder}$$

$$\frac{\sigma_o}{\sqrt[m]{x_o}} \frac{m}{m+1} \sqrt[m]{x_o^{(m+1)}} = \frac{\sigma_u}{\sqrt[m_1]{x_u}} \frac{m_1}{m_1+1} \sqrt[m_1]{x_u^{(m_1+1)}} \quad \text{oder endlich}$$

5) $$\frac{m}{m+1}\,\sigma_o\,x_o = \frac{m_1}{m_1+1}\,\sigma_u\,x_u$$

Das Moment der Spannung $\sigma \,.\, dF$, bezogen auf die neutrale Schicht, also mit dem Hebelsarm x, ist gleich $\sigma \,.\, dF \,.\, x$; demnach das ganze Widerstandsmoment auf Druck- und Zugseite

$$= \frac{\sigma_o \, b}{\sqrt[m]{x_o}} \int_0^{x_o} x^{\left(\frac{1}{m}+1\right)} \, dx + \frac{\sigma_u \, b}{\sqrt[m]{x_u}} \int_0^{x_u} x^{\left(\frac{1}{m_1}+1\right)} \, dx$$

Also lautet die letzte Gleichung, die Momentgleichung

$$M = \frac{\sigma_o \, b}{\sqrt[m]{x_o}} \cdot \frac{m}{1+2m} \sqrt[m]{x_o^{1+2m}} + \frac{\sigma_u \, b}{\sqrt[m_1]{x_u}} \cdot \frac{m_1}{1+2m_1} \sqrt[m_1]{x_o^{1+2m_1}}$$

oder

$$M = \sigma_o \, b \, \frac{m}{1+2m} x_o^2 + \sigma_u \, b \, \frac{m_1}{1+2m_1} x_u^2 \qquad 6)$$

[N. B. für Körper, bei welchen $\alpha_1 = \alpha$ und die Formänderung der Spannung proportional ist, z. B. bei Schmiedeeisen und Stahl, wird $m_1 = m = 1$ und nach der 1ten bis 5ten Gleichung die Spannung $\sigma_o = \sigma_u$; $x_o = x_u = \frac{h}{2}$; und es liefert Gleichung 6 Uebereinstimmung mit der Momentengleichung $M = \sigma_o \frac{b\,h^2}{6}$]

Aus den so entwickelten Gleichungen lassen sich nun die für uns besonders wichtigen Unbekannten σ_o σ_u x_o und x_u ermitteln.

β) Angenähertes Verfahren.

Setzt man $m = m_1 = 1$, so ist dies gleichbedeutend mit der Annahme einer den Abständen von der neutralen Schicht proportional verlaufenden Spannungsverteilung (Fig. 45). Da die Inhalte der Spannungsdreiecke nichts destoweniger den unter a) betrachteten Werten D bezw. Z gleich sein müssen, so ergeben sich, wie ohne Weiteres aus dem Vergleich der durch punktierte Linien begrenzten Spannungsfiguren mit den gradlinig begrenzten hervorgeht, die Randspannungen σ_o u. σ_u (als Höhen dieser Dreiecke) etwas zu gross. Man hat also bei der Anwendung des nachstehend entwickelten angenäherten Verfahrens eine entsprechend höhere Sicherheit.

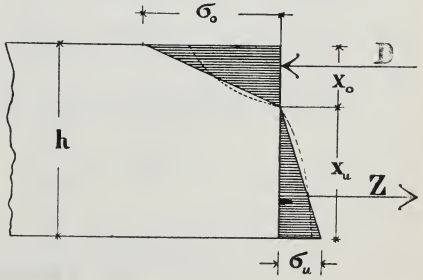


Fig. 45.

Das Verhältnis der Formänderungskoefficienten von Zug zu Druck, also $\frac{\alpha_1}{\alpha}$ werde mit μ bezeichnet; dasselbe ist mit der Zusammensetzung und Verarbeitung des Betons veränderlich. Für die 4 Unbekannten σ_o σ_u x_o u. x_u ergeben sich dann ohne Weiteres die vier Gleichungen:

1) $x_o + x_u = h$; 2) $\frac{\sigma_o}{\sigma_u} = \mu \frac{x_o}{x_u}$

3) $\frac{\sigma_o x_o}{2} = \frac{\sigma_u x_u}{2}$; 4) $\frac{\sigma_o x_o}{2} \cdot \frac{2}{3} hb = M.$

Hieraus folgt:

7) $$\sigma_o = \frac{3M}{bh^2}\left(1 + \sqrt{\mu}\right)$$

8) $$\sigma_u = \frac{3M}{bh^2}\left(1 + \sqrt{\frac{1}{\mu}}\right)$$

Da aber μ mindestens = 9 angenommen werden darf, so wird die Druckspannung

$$\sigma_o = \frac{12M}{bh^2} \text{ oder } = \frac{M}{\frac{bh^2}{12}} = 2\frac{M}{\frac{bh^2}{6}}$$

und die Zugspannung

$$\sigma_u = \frac{4M}{bh^2} \text{ oder } = \frac{2}{3}\frac{M}{\frac{bh^2}{6}}.$$

Die Druckspannungen ergeben sich etwa doppelt, die Zugspannungen aber höchstens zwei Drittel mal so gross als für Druck und Zug gleich-elastische Körper mit proportionaler Formänderung.

Für $\mu = 16$ (Mittelwert) wird

$$\sigma_o = 2\tfrac{1}{2}\frac{M}{\frac{bh^2}{6}}; \quad \sigma_\mu = \frac{5}{8}\frac{M}{\frac{bh^2}{6}}.$$

Für $\mu = 25$ (wohl Höchstwert) wird

$$\sigma_o = 3\frac{M}{\frac{bh^2}{6}}; \quad \sigma_u = \frac{3}{5}\frac{M}{\frac{bh^2}{6}}.$$

4. Abscheerung.

α) unmittelbares Abscheeren.

Wird der Querschnitt F eines Betonkörpers auf unmittelbares Abscheeren in Anspruch genommen durch eine zur Querschnittsfläche

parallel gerichtete Kraft Q, so können die in der Querschnittsfläche erzeugten Schubspannungen als gleichmässig verteilt angesehen werden; demnach ergiebt sich die Schubspannung für die Flächeneinheit

$$\tau = \frac{Q}{F} \qquad 9)$$

β) Abscheeren bei Biegung.

Die grösste Beanspruchung auf Abscheeren bei Biegung tritt ein in der neutralen Schicht, und zwar in dem Querschnitt, für welchen die Transversalkraft (Verticalkraft oder Schubkraft) am grössten wird. Bei der Auflagerung an beiden Enden (Balken auf zwei Stützen) wird die Transversalkraft stets unmittelbar neben dem grössten Auflagerdruck A (Fig. 46) am grössten und diesem gleich sein. Hat letzterer den Wert A, so besteht für die Endscheibe am Auflager die Momentgleichung

$$Da = A.1$$

woraus

$$D = \frac{A1}{a}$$

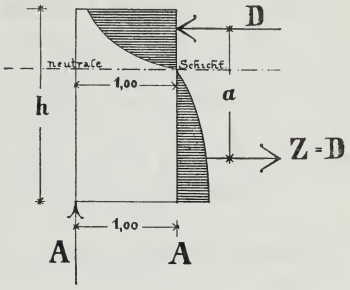


Fig. 46.

Da aber a nach 3) annähernd $= \frac{2}{3}h$ gesetzt werden kann, so wird

$$D = \frac{3}{2}\frac{A.1}{h};$$

demnach wird bei der Breite b des Querschnitts in der am stärksten auf Abscheeren beanspruchten neutralen Schicht, wie aus Fig. 4 ersichtlich, die Schubspannung

$$\tau = \frac{D}{1{,}00\,.\,b} = \frac{3}{2}\frac{A\,.\,1{,}00}{h\,.\,b\,.\,1{,}00} = \frac{3}{2}\frac{A}{b\,.\,h} \qquad 10)$$

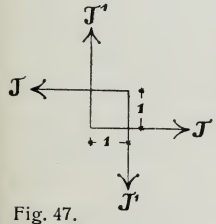


Fig. 47.

Mit jeder wagerechten Schubspannung τ ist eine lothrechte τ^1 verbunden, welche wegen des Gleichgewichts des von ihnen angegriffenen Körperelementchens (Fig. 47) gegen Drehen, also wegen Gleichung $\tau^1 . 1 = \tau . 1$ einander gleich sein müssen, also

$$\tau^1 = \tau = \frac{3}{2}\frac{A}{b\,h}$$

b. Beton mit Eiseneinlagen.

1. Einleitung.

Nachdem in neuester Zeit durch C. Bach, wie bereits im vorigen Abschnitt erwähnt, die für die Formänderung gedrückter Cement-,

Cementmörtel- und Betonkörper bestehenden Gesetze zuverlässig festgestellt sind, kann man dazu übergehen, auch die statischen Berechnungen der Betoneisenkonstruktionen auf eine wissenschaftlich richtigere Grundlage zu stellen. Bisher genügte das vom Verfasser angegebene und im Jahrgang 1886 des Central-Blatts der Bauverwaltung Seite 462 sowie in der im Selbstverlage von G. A. Wayss 1887 erschienenen sog. Monier-Broschüre mitgeteilte Verfahren, welches durch das nachstehend entwickelte in sofern ergänzt wird, als eben die Bach'schen Formänderungsgesetze für Beton in Verbindung mit denen des Eisens und deren Einfluss auf das Rechnungsergebnis Berücksichtigung finden konnten. Wir halten auch hier an dem damals ausgesprochenen Grundsatze fest, wonach dem Beton nur Druck- und keine Zugspannungen zugemutet werden sollten, und der Eisenquerschnitt so reichlich gewählt werden müsse, dass er allein zur Aufnahme der Zugspannungen genüge. Wenn ein solches Verfahren auch einen geringen Mehraufwand an Material mit sich bringt, so gewährt es dafür eine erhöhte und einwandsfreiere Sicherheit der Konstruktion, sowie erhebliche Vereinfachung der statischen Berechnungen, beides Umstände, deren Beobachtung auch von den die Entwürfe und Berechnungen prüfenden Behörden gewünscht oder gar vorgeschrieben wird.

2. Druck.

α) centrischer Druck.

In einem stabförmigen Betonkörper mit dem Betonquerschnitt F_b seien Eisenstäbe mit Gesamtquerschnitt F_e parallel zu seiner Längsrichtung und gleichmässig verteilt eingebettet. Dieser Körper werde nach Richtung seiner Länge einem über seinen Querschnitt gleichmässig verteilten Druck P ausgesetzt. Die Querschnittsabmessungen des Körpers seien jedoch im Verhältnis zu seiner Länge so gross, dass ein Einknicken desselben nicht zu befürchten ist, vielmehr nur eine über den Querschnitt gleichmässig verteilte Zusammendrückung eintritt, die also sowohl für den Betonkörper als auch für die Eiseneinlagen gleich gross ist. Aus dem letzteren Umstande lässt sich dann mit Hilfe der Formänderungsgesetzte für Beton und Eisen ohne weiteres feststellen, mit welchen Anteilen Beton und Eisen an der Drucküber-tragung thätig sind. Bezeichnet man, ähnlich wie α für Beton, mit β die durch die Spannungseinheit erzeugte spezifische Längenänderung des Eisens, mit σ_b die Beanspruchung des Betons, mit σ_e diejenige des Eisens, so wird demnach (vergl. Gl. 2) die Zusammenpressung

$$\overset{m}{\alpha\,\sigma_b = \beta\,\sigma_e}$$

oder, wenn m = 1, (vgl. 3) β)

11) $$\frac{\sigma_b}{\sigma_e} = \frac{\beta}{\alpha}$$

Das Verhältnis der Spannungen ist also unabhängig von der Grösse der Querschnitte; dieselben verhalten sich nur umgekehrt wie die spezifischen Längenänderungen unter der Spannungseinheit; m. a. W. je nachgiebiger oder zusammenpressbarer das eine Material ist im Vergleich zu andern, um so geringer ist auch die in ihm erzeugte Spannung im Vergleich zu derjenigen des steiferen Materials.

Die auf die Querschnitte F_b und F_e entfallenden Druckanteile betragen $\sigma_b F_b$ bezw. $\sigma_e F_e$; für sie ergibt sich nach obiger Gleichung das Verhältnis

$$\frac{\sigma_b F_b}{\sigma_e F_e} = \frac{\beta}{\alpha} \frac{F_b}{F_e}$$

Die Anteile verhalten sich also direkt wie die Querschnitte und umgekehrt wie die spez. Zusammenpressungen unter der Spannungseinheit; m. a. W. der nachgiebigere Körper weicht dem Druck leichter aus, erleidet also auch einen geringeren spezifischen Druck, während der straffere Körper, hier das Eisen, der gleichen Zusammenpressung einen grösseren elastischen Widerstand entgegensetzt.

So wird für Schmiedeeisen mit $\beta = \frac{1}{2000{,}000}$ und Cementmörtel $1 : 4\,1/2$ mit $\alpha = \frac{1}{230{,}000}$ (vergl. a) 2) $\frac{\beta}{\alpha} = \frac{23}{200} = \text{rd}\,\frac{1}{9}$; daher hierfür

$$\frac{\sigma_b F_b}{\sigma_e F_e} = \frac{1}{9} \frac{F_b}{F_e}$$

Wären also das Eisen und der genannte Cementmörtel gleich unnachgiebig, so würde $\frac{\beta}{\alpha} = 1$ anstatt $\frac{1}{9}$, und der Druck sich einfach nach dem Verhältnis der Querschnitte auf beide verteilen; da aber das Eisen im vorliegenden Falle 9 mal steifer ist, nimmt es erst bei der 9 mal so grossen Druckkraft die gleiche Zusammenpressung an.

Mit Summe $\sigma_b F_b + \sigma_e F_e = P$ und Gl. 11)
berechnen sich dann leicht die Spannungen selbst, womit dann auch die Anteile $\sigma_b F_b$ und $\sigma_e F_e$ bekannt sind, und zwar wird, $\frac{\alpha}{\beta} = n$ gesetzt,

$$\sigma_b = \frac{P}{F_b + n F_e}; \quad \sigma_e = \frac{P}{F_e + \frac{1}{n} F_b} \qquad 12 \text{ und } 12a)$$

Für die Ermittelung der Beanspruchung des Betonquerschnitts ist also der Eisenquerschnitt mit dem n fachen Betrage in Rechnung zu ziehen, während für die Feststellung der Eisenbeanspruchung der Beton nur mit $\frac{1}{n}$ seines Querschnitts in Ansatz zu bringen ist, wenn beide Querschnittsanteile auf einerlei Material reduziert werden.

β) exentrischer Druck.

Bei excentrischem Druck entsteht, wie bereits auf Seite 165 entwickelt, neben dem Axialdruck P das Biegungsmoment Pe. Ersterer verteilt sich nach den unter a) erörterten Gesetzen mit den in obigen Gleichungen 12) ermittelten Spannungen. Hierzu sind nun die durch das Biegungsmoment Pe erzeugten Zug- und Druckspannungen hinzuzufügen, welche in 4) und 6) ermittelt werden.

3. Zug.

Da auf die Mitarbeit des Betons bei der Aufnahme von Zugspannungen verzichtet werden soll, so wird unter Voraussetzung eines in 2) gekennzeichneten, nun aber von der Zugkraft P ergriffenen Betoneisenkörpers die Zugbeanspruchung des Eisens

13) $$\sigma_e = \frac{P}{F_e}$$

4. Biegung.

Für die Beurteilung der Biegungsspannungen gelten die bekannten in a) 3) erörterten Gesetze. Wir haben nur noch die Wirkung der Eiseneinlagen hinzuzufügen und diejenige der Betonzugspannungen als nicht vorhanden anzusehen. Sowohl auf der Zugseite des Querschnitts als auch auf der Druckseite seien Eisenstäbe parallel zur Stabachse eingelegt. Ihre Querschnitte F_e bzw. F_e^1 seien im Verhältnis zur Stab- oder Plattendicke h nur von geringer Höhe, sodass man die in ihnen auftretenden Zug- bezw. Druckspannungen als gleichmässig verteilt ansehen kann. Bezeichnet man letztere für die Flächeneinheit mit σ_e bezw. σ_e^1, so beträgt die Gesamtzug- bezw. Druckspannung des Eisens $\sigma_e F_e$ bezw. $\sigma_e^1 F_e^1$, welche gegen die neutrale Schicht mit den Hebelsarmen ω bezw. ω^1 (Fig. 6) und den Widerstandsmomenten $\sigma_e F_e \omega$ bezw. $\sigma_e^1 F_e^1 \omega^1$, beide in demselben Sinne drehend, zur Wirkung kommen.

Wenn hier von vornherein die vereinfachte linear veränderliche Druckverteilung im gedrückten Betonquerschnitt zu Grunde gelegt wird (vgl. a) 3) β), welche nach den früheren Erörterungen umsomehr zulässig erscheint, als die damit berechneten Spannungen sich etwas zu gross ergeben, so wird das Gesamtwiderstandsmoment des Querschnitts unter Festhaltung der in a) 3) und Fig. 46 gewählten Bezeichnungen

$$= \frac{\sigma_o x_o}{2} b \cdot \frac{2}{3} x_o + \sigma_e F_e \omega + \sigma_e^1 F_e^1 \omega^1$$

welches gleich ist dem Angriffsmoment M; oder

1, $$M = \sigma_o \frac{x_o^2}{3} b + \sigma_e F_e (d - x_o) + \sigma_e^1 F_e^1 (x_o - d^1)$$

wenn mit d bezw. d^1 die bekannten Abstände des Schwerpunkts der Eisenquerschnitte von der Oberkante des Gesamtquerschnittes bezeichnet werden (vgl. Fig. 48).

Zur Auffindung der 4 Unbekannten σ_o σ_e σ_e^1 u. x_o bedarf es also noch dreier Gleichungen; als solche sind vorhanden: Eine Gleichgewichtsbedingung

$$2,\quad \sigma_e F_e = \frac{\sigma_o x_o}{2} b + \sigma_e^1 F_e^1$$

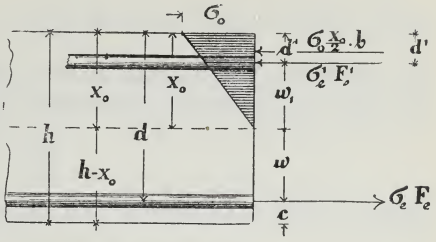


Fig. 48.

und zwei aus der Formänderung abgeleitetc Beziehungen, insofern sich verhält

$$3,\quad \frac{\sigma_e}{\sigma_e^1} = \frac{d - x_o}{x_o - d^1};\qquad 4,\quad \frac{\sigma_e}{\sigma_o} = \frac{\alpha}{\beta}\,\frac{d - x_o}{x_o}$$

Aus den vorstehenden vier Gleichungen lassen sich die gesuchten Spannungen und die Lage der neutralen Schicht leicht berechnen.

In den meisten Fällen begnügt man sich mit Eiseneinlagen auf der Zugseite. Es fallen dann die Grössen F_e^1, σ_e^1, ω^1 und d^1 in obigen Gleichungen fort. Für die noch bleibenden 3 Unbekannten σ_o σ_e und x_o bestehen dann die 3 Gleichungen

$$1,\quad M = \sigma_o \frac{b\,x_o^2}{3} + \sigma_e F_e (d - x_o)$$

$$2,\quad \sigma_e F_e = \frac{\sigma_o x_o}{2} b$$

$$3,\quad \frac{\sigma_e}{\sigma_o} = \frac{\alpha\,(d - x_o)}{\beta\quad x_o}$$

Setzt man wie in 3) das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta} = n$, so ergiebt sich aus den beiden letzten Gleichungen

$$x_o = \frac{F_e}{b}\left(\sqrt{1 + \frac{2\,b\,d}{n\,F_e}} - 1\right) \qquad 14)$$

und aus den beiden ersten

$$\sigma_o = \frac{2\,M}{b\,x_o\,(d - \frac{1}{3}x_o)} \qquad 15)$$

und aus den mittleren

$$\sigma_e = \sigma_o \frac{b\,x_o}{2\,F_e} = \frac{M}{F_e\,(d - \frac{1}{3}x_o)} \qquad 16)$$

Die Gleichungen 15 und 16 lassen sich auch unmittelbar aus der Figur ablesen, wenn man nur bedenkt, dass $\sigma_o \cdot \frac{b \cdot x_o}{2}$ und $\sigma_e \cdot F_e$ die gesamte Druck- bezw. Zugkraft und $d - \frac{x_o}{3}$ den Hebelsarm der Kräfte bedeuten, deren Moment gleich dem Angriffsmoment M sein muss.

Aus der mittleren Gleichung in der Form

$$\frac{\sigma}{\sigma_o} = \frac{b\, x_o}{2\, F_e}$$

ist ausserdem zu entnehen, dass bei gleichem Verhältnis $\frac{\sigma_e}{\sigma_o}$ die neutrale Schicht um so tiefer rückt, je grösser für dieselbe Breite b der Eisenquerschnitt F_e ist.

5. Abscheerung.

α) unmittelbares Abscheeren.

Wird der Querschnitt eines Betoneisenkörpers mit dem Betonquerschnit F_b und dem Eisenquerschnitt F_e auf unmittelbares Abscheeren in Anspruch genommen durch eine zur Querschnittsfläche parallel gerichtet Kraft Q, so können die in jedem der beiden Materialien erzeugten Schubspannungen als über deren Querschnitte gleichmässig verteilt angesehen werden. Das Verhältnis der Schubspannungen zu einander richtet sich ähnlich wie bei der Verteilung der Druckspannungen nach dem Verhältnis des elastischen Widerstandes der beiden Materialien gegen elastische Verschiebung. Ist letztere für den Beton n mal so gross als für Eisen, so wird die Schubbeanspruchung des Betons

$$\tau_b = \frac{Q}{F_e + n\, F_e}$$

und diejenige des Eisen

$$\tau_e = \frac{Q}{F_e + \frac{1}{n} F_b}$$

β) Abscheeren bei Biegung.

Bei Biegung kann das Abscheeren entweder in der neutralen Schicht des Betonkörpers oder längs der Oberfläche der Eiseneinlagen erfolgen. In beiden Fällen tritt es dorl zuerst ein, wo die Transversalkraft am grössten, also dicht neben den Auflagern.

Die Berechnung unterscheidet sich im wesentlichen nicht von derjenigen unter a) 4) β) für die Abscheerung einfacher Betonkörper ohne Eiseneinlagen. Dort war (vgl. Fig. 46) am Auflager

$$D \cdot a = A \cdot 1{,}00$$

Für a tritt hier ein der mit x_o bekannte Wert $\frac{x_o}{3}$, woraus (vgl. Fig. 49)

$$D = \frac{A \,.\, 1{,}00}{d - \frac{x_o}{3}}$$

Demnach wird bei der Breite b des Querschnitts in der am stärksten auf Abscheeren beanspruchten neutralen Schicht, wie aus Fig. 49 ersichtlich, die Schubspannung

$$\tau = \frac{D}{1{,}00 \,.\, b} = \frac{A \,.\, 1{,}00}{(d - \frac{x_o}{3})\, b \,.\, 1{,}00} = \frac{3\,A}{(3\,d - x_o)\, b} \qquad 20)$$

Die mit τ verbundene, lothrecht gerichtete, also im Querschnitt des Stabes oder der Platte thätige Schubspannung τ^1 ergiebt sich ebenso wie in a) 4) und zwar ist $\tau^1 = \tau$.

Die längs der Oberflächc der Eisenstäbe erzeugte Schub- bezw. Adhäsionsspannung erhält man durch Division der auf die Breite b und Länge l (Fig. 49) entfallenden Eisenstaboberfläche in die Zugkraft Z, welche des Gleichgewichts wegen = D ist.

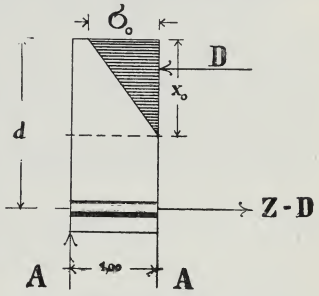


Fig. 49.

Bezeichnet man mit τ_u die gesuchte Schubspannung für die Flächenheit und mit U den gesamten Umfang der Querschnitte der Eisenstäbe, so wird

$$U \,.\, 1{,}00 \,.\, \tau_u = Z = D$$

$$\tau_u = \frac{3\,A}{(3\,d - x_o)\, U} \qquad 20)$$

6. Biegung mit Axialdruck (ohne Knickgefahr).

(Gewölbe).

Erfolgt bei ungleichförmiger, z. B. einseitiger Anordnung der Eiseneinlage (Fig. 50) die Zusammenpressung dennoch gleichmässig, so fällt der Druckmittelpunkt m des Axialdruckes P nicht etwa mit dem Schwerpunkt s des Betonquerschnittes (wofür bei verhältnismässig geringem Eisenquerschnitt auch der Schwerpunkt des Gesamtquerschnittes gesetzt werden kann) zusammen, vielmehr ist derselbe dem steiferen Eisenquerschnitte zugekehrt um ein Mass e, welches sich aus der Momentengleichung in Bezug auf irgend eine, etwa durch Punkt s gelegte, Axe ergiebt, wonach

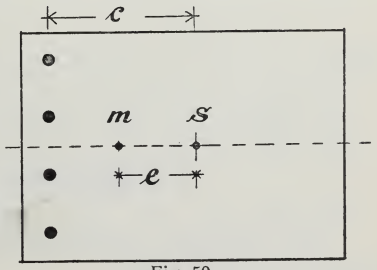


Fig. 50.

$$P \,.\, e = \sigma_e \,.\, F_e \,.\, c.$$

Nach Einsetzung des Wertes für σ_e aus Gleichung 12a) wird

$$e = \frac{c}{1 + \frac{1}{n} v}$$

wobei das Verhältnis $\frac{F_b}{F_e}$ mit v bezeichnet ist.

Ein Axialdruck P mit Druckmittelpunkt s erzeugt demnach neben der gleichmässigen Zusammenpressung noch eine Biegung durch das Moment P_e, welches somit einem bereits vorhandenen Biegungsmomente hinzuzufügen ist. Bei Berechnung der Spannungen in Gewölben ist also der auf die Gewölbmittelaxe bezogene Hebelsarm des Tangentialdruckes um die Grösse e zu vermehren.

Für die allgemeine Lösung der Aufgabe sind den in 4) ermittelten Biegungsspannungen, welchen aber bei ungleichförmiger Eisenverteilung ein um das Nebenmoment P_e entsprechend abzuänderndes Biegungsmoment zu Grunde zu legen ist, die in 2) berechneten Axialdruckspannungen hinzuzufügen. Man erhält dann bei Festhaltung der bisherigen Bezeichnungen als Gesamtdruckspannung des Betons

21) $$\sigma_b = \frac{2\,(M + P_e)}{b \,.\, x_o\,(d - \frac{1}{3} x_o)} + \frac{P}{F_b + n\,F_e}$$

und als Zugspannung des Eisens

22) $$\sigma_e = \frac{M + P_e}{F_e\,(d - \frac{1}{3} x_o)} - \frac{P}{F_e + \frac{1}{n} F_b}$$

Befindet sich auf der Biegungsdruckseite ebenfalls eine Eiseneinlage F'_e, so sind die Biegungsspannungen nach 4) aber gleichfalls unter Berücksichtigung des ähnlich wie oben zu ermittelnden Nebenmoments P_e festzustellen; sie seien $\sigma_b{}^1$ bezw. $\sigma_e{}^1$; alsdann werden die Gesamtspannungen

23) $$\sigma_b = \sigma'_b + \frac{P}{F_b + n\,(F_e + F'_e)}$$

24) $$\sigma_e = \sigma'_e - \frac{P}{(F_e + F'_e) + \frac{1}{n} F_b}$$

7. Axialdruck mit Knickgefahr.

(Stützen).

Die bekannte Eulersche Formel über Knickfestigkeit für gleichartigen Baustoff lautet:

$$P = \frac{r}{s} \frac{1}{\alpha} \cdot \frac{J\,\pi^2}{l^2}$$

Hierin bezeichnet l die Länge des axial gedrückten Stabes, J das kleinste Querschnittsträgheitsmoments, s die Sicherheitsziffer, r eine von der Befestigungsart der Stabenden abhängige Zahl und α wie bisher die spezifische, elastische Formänderung unter der Spannungseinheit.

Für den nach seiner Längsrichtung mit unverrückbaren Eisenstäben verstärkten Betonstab beziehe sich σ auf Beton, β mit derselben Bedeutung auf Eisen; J_b und J_e seien die Anteile der kleinsten Trägheitsmomente des Beton- bezw. Eisenquerschnitts, deren Schwerpunkte als zusammenfallend vorausgesetzt werden.

Da man bei einem in sich fest verbundenen Körper, wie der hier vorliegende Verbundkörper mit unverrückbaren Eisenstäben – die Unverrückbarkeit der Eisenstäbe muss durch zuverlässige, in nicht zu grossen Abständen angeordnete Querverbindungen gewährleistet sein – den Gesamtknickwiderstand als die Summe der Teilknickwiderstände annehmen kann, so wird

$$P = \frac{r}{s}\frac{\pi^2}{l^2}\left(\frac{J_b}{\alpha}+\frac{J_e}{\beta}\right)=\frac{r}{s}\frac{\pi^2}{l^2\beta}\left(J_e+\frac{1}{n}J_b\right)$$

wenn, wie früher, das Verhältnis $\frac{\alpha}{\beta}$ mit n bezeichnet wird.

In der Regel wird J_b mit der Form oder zulässigen Dicke der Stütze gegeben oder anzunehmen sein; es ergiebt sich dann

$$J_e = \frac{s}{r}\frac{P\,l^2}{\pi^2}\cdot\beta-\frac{1}{n}J_b \qquad 25)$$

Bei 10facher Sicherheit und dem grössten Wert für n, welcher nach den in a) 2) mitgeteilten Bachschen Versuchsergebnissen etwa 9 beträgt, wird mit $\pi^2 = 10$, $\beta = \frac{1}{2\,000\,000}$ kg/qcm

$$J_e = \frac{10}{r}\frac{P\,l^2}{2}-\frac{1}{9}J_b \qquad 26)$$

oder

$$P = \frac{1}{5}r\,\frac{J_e+\frac{1}{9}J_b}{l^2}$$

wobei P in Tonnen und l in m, J_e u J_b jedoch in cm auszudrücken sind.

Unter der Voraussetzung, dass die Stabenden in ihrer Axe fest geführt sind, eine Bedingung, welche auf Bauten wohl stets erfüllt ist, tritt für r, je nachdem beide Enden des Stabes frei beweglich oder fest eingespannt gehalten werden, die Zahl 1 bezw. 4 ein.

Für den ersten meist vorkommenden Fall wird bei 10facher Sicherheit

$$J_e+\frac{1}{9}J_b = 5\,Pl^2; \qquad 27)$$

im Falle beiderseitiger Einspannung wird

28) $$J_e + \frac{1}{9} J_b = \frac{5}{4} Pl^2;$$

im Falle einseitiger Einspannung wird

29) $$J_e + \frac{1}{9} J_b = \frac{5}{2} Pl^2.$$

Endlich ist für den Fall, dass das eine Ende eingespannt, das andere ganz frei ist

30) $$J_e + \frac{1}{9} J_b = 20\ Pl^2$$

Auf das Aehnliche in der Form dieser Ausdrücke mit den unter 12a) und 12) entwickelten einfachen Druckspannungsgleichungen sei hingewiesen; während dort die einfachen Flächeninhalte F_e und $\frac{1}{n} F_b$ auftreten, sind es hier die Trägheitsmomente der Querschnitte. Auch ist das Verhältnis der Werte ähnlich demjenigen der entsprechenden Beziehungen für gleichartigen Baustoff.

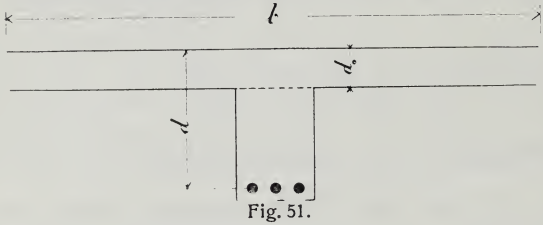


Fig. 51.

11. Biegung der Plattenbalken.

Unter Plattenbalken (Fig. 51) sei eine durch eine Betoneisenrippe verstärkte Platte verstanden, welche demzufolge ganz oder annähernd T-förmigen Querschnitt besitzt.

In der Regel liegt die Verstärkungsrippe auf der Biegungszugseite und die in 4) für den rechteckigen Querschnitt entwickelten Formeln 14, 15 und 16 sind auch hier gültig, vorausgesetzt, dass die Entfernung x_o nicht grösser als die Plattendicke sich ergiebt, also die neutrale Schicht nicht ausserhalb der Plattendicke fällt. Im Grenzfall ist x_o = der Plattendicke d_o, und es wird

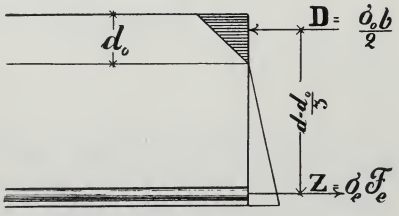


Fig. 52.

31) u. 32) $$\sigma_o = \frac{2\,M}{b\,d_o\,(d - \frac{d_o}{3})}; \qquad \sigma_e = \frac{M}{F_e\,(d - \frac{d_o}{3})}$$

welche Formeln auch unmittelbar aus Fig. 52 zu entnehmen sind, d

$\sigma_o \frac{b\, d_o}{2}$ und $\sigma_e \,.\, F_e$ die gesamte Druck- bezw. Zugspannung und $d - \frac{d_o}{3}$ den zugehörigen Hebelsarm darstellen. Der dritte mögliche Fall ist derjenige, wobei die neutrale Schicht NN in den Steg eintritt (Fig. 53). Hierfür müssten neue Formeln aufgestellt werden, die sich ziemlich umständlich gestalten. Es genügen aber auch hier, wenn die im Stege thätigen geringen Druckspannungen nicht mit in Betracht gezogen werden, die obigen Werte, zumal dadurch eine erhöhte Sicherheit bedingt ist; höchstens würde in die Eisenspannungsgleichung für den Abstand $\frac{d_o}{3}$ des Druckmittelpunktes von Plattenoberkante ein etwas grösserer Wert, am sichersten der Grenzwert $\frac{d_o}{2}$ zu setzen sein.

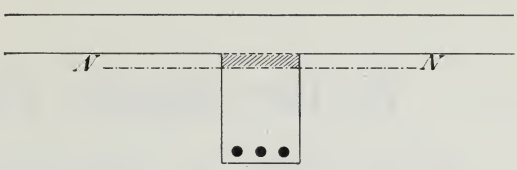


Fig. 53.

Die Formeln 14 bis 16 gelten auch, wenn die Zugbeanspruchung in einem solchen Plattenbalkenquerschnitt an der Oberseite auftritt, wie es beispielsweise an den Enden eingespannter oder über den Mittelstützen dnrchgehender Träger der Fall ist.

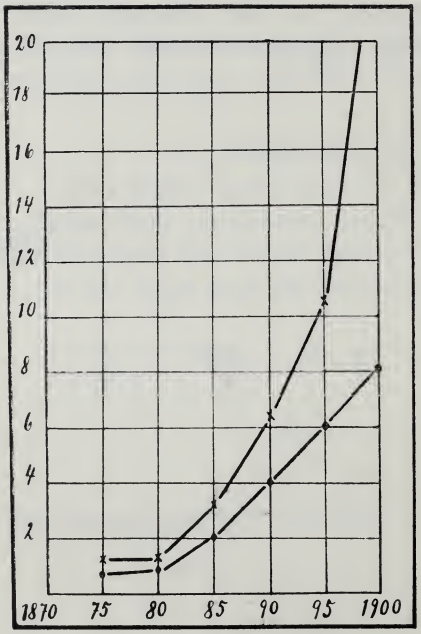
VI. Der deutsche Betonverein.

Mit der Zunahme der Verwendungsgebiete für den Beton tra naturgemäss auch eine allmählig immer grösser werdende Zahl von Geschäften auf, welche die Fabrikation von Cementwaren oder die Herstellung von Betonbauten als Spezialfach aufnahmen.

Um nun die gemeinsamen Interessen des Cementwaren- Kunststein- und Betonbau-Gewerbes zu fördern, wurde im Jahre 1898 nach dem Vorbild des Vereins deutscher Portland-Cement-Fabrikanten der Deutsche Beton-Verein unter dem Vorsitz des verstorbenen Fabrikanten Hartwig Hüser aus Oberkassel begründet. — Der Gedanke des Zusammenschlusses aller Portland-Cement verarbeitenden Betriebe und Firmen fand so grossen Anklang, dass dem neuen Verein bei der Gründung bereits über 200 Firmen als Mitglieder beitraten, ein schöner Beweis für die bedeutende Entwickelung, welche die junge Industrie in der kurzen Zeit ihres Bestehens genommen hat. Die nebenstehend dargestellten Kurven der Verhältniszahlen dieser Entwickelung verdeutlichen dies.

Entwickelung der Deutschen Cementwaren- und Betonindustrie.

Die untere Kurve zeigt das Anwachsen der Arbeiterzahl, die obere die Steigerung des Cementverbrauches.



Während Anfangs die Arbeiterzahl und der Cementverbrauch annähernd proportional blieben, ist von 1880 an der Cementverbrauch unverhältnismässig schneller als die Arbeiterzahl gestiegen, wenngleich auch letztere einen ganz regelmässigen starken Fortschritt aufwies. Das hängt zusammen mit der immer grösser werdenden Ausbreitung des Cementbetonbaues, zu dem eine ganze Reihe Firme

übergegangen ist, die sich früher ausschliesslich mit der Cementwarenfabrikation beschäftigten.

Der Deutsche Beton-Verein bezweckt die Förderung der gemeinsamen fachwissenschaftlichen und wirtschaftlichen Interessen seiner Mitglieder. Sein Arbeitsprogramm hat in der kurzen Zeit seines Bestehens fortwährend zugenommen und das Interesse immer weiterer Kreise gefunden.

Der Vorstand des Vereins besteht zur Zeit aus den Herren:

Eugen Dyckerhoff-Biebrich, Vorsitzender. **Albert Eduard Toepffer**-Stettin, Stellvertretender Vorsitzender. **E. Huber**-Breslau, Schriftführer. **V. Carstanjen**-Duisburg, Kassenwart. **M. Koenen**-Berlin, Regierungsbaumeister a. D., Bücherwart. **J. Brenzinger**-Freiburg (Brg.). **F. C. Dücker**-Düsseldorf. **C. Freytag**-Neustadt a. d. Hardt. **Alfred Hüser**-Obercassel. **B. Liebold**-Holzminden. **J. Stiefel**-Augsburg.

und als Mitglieder gehören dem Vereine an:

A. Ordentliche Mitglieder.*)

Act.-Ges. für Beton- und Monierbau. Berlin, Potsdamerstrasse 129—130 (Köln, Dresden, Hamburg, Königsberg, Leipzig, Niedersachswerfen a. H.) w. b.	**Anteile:**	**12**
Act.-Ges. für Cement- und Beton-Industrie, früher W. Gürtler, St. Petersburg, Wasiliy, Ostrow 1 Linie 12 (Moskau, Libau) w. k. b.	„	**12**
Aktiebolaget Skänska, Cementgjuteriet, Malmö. (Stockholm, Göteborg) w. k. b.	„	**12**
Alsensche Portland-Cement-Fabriken, Hamburg, (Uetersen) w. .	„	**1**
Anhalter Betonwerk. C.-G. Otto Maye & Co., Dessau w. k. b.	„	**1**
Anhaltische Blei- und Silberwerke, Abteilung Cementwerke. Silberhütte in Anhalt w. k. b.	„	**1**
Basalt-Actien-Gesellschaft, Linz a. Rh. w. k. b.	„	**4**
Bauhütte Deuben-Dresden, Zechel & Hänsel *Jul. Georg Hänsel und Frau Bertha verw. Zechel.* (Deuben) w. k. . . .	„	**1**
C. Baumann-J. Schwarz, Bauunternehmung, Rosenheim, Münchnerstrasse 12 b.	„	**1**
Baumhold & Co., Cementwaren- und Betonbaugeschäft, Hildesheim w. b.	„	**1**
Fritz Becker, Lage i. Lippe w. k. b.	„	**1**
Anton Behnes, Papenburg w.	„	**1**
L. Berringer, Nachf. Inh. Dr. H. Werbeck, Rostock i. Mecklbg. w. k. b.	„	**1**
F. Bludau, Ostpreussische Cementwaren-, Terrazzo- und Kunststeinfabrik, Insterburg b. k. w.	„	**2**
Wilhelm Bode, Quenstedt bei Aschersleben w.	„	**1**
Böhme & Franke, Kamenz	„	**1**
H. Boschen*, Bildhauer Heinr. Boschen und Kaufmann Günther Boschen, *Oldenburg i. G. w. k.	„	**1**
Friedrich Boss & Co., Cementwarenfabrik, Baumaterialien-Handlung, *Friedrich Boss*, Düsseldorf w.	„	**1**
Carl Brandt, Düsseldorf *Albert & Otto Brandt* b. k. w. . .	„	**4**

*) Zweiggeschäfte sind in ( ) beigefügt. Falls die Firmen-Inhaber einen von diesen abweichenden Namen haben, ist dieser zwischen * * gesetzt. b. = Betonbauunternehmer, k. = Kunststeinfabrikanten, w. = Cementwarenfabrikanten.

Brenzinger & Co., Cementwarenfabrik, *Julius Brenzinger*, Freiburg i. B. w. k. b. . . . . **Anteile: 4**
H. & A. Brockhaus, *Alfred Brockhaus*, Köln a. Rh., Dagobertstrasse 13 w. b. . . . . „ 4
Max Buck, Steinfabrik, Ehingen a. D. k. b. . . . . „ 1
Cementbaugeschäft Rud. Wolle, Leipzig, Mozartstrasse 5 w. b. „ 12
Cementbau-Actiengesellschaft Hannover, Andreasstr. 1. (Lehrte, Köln-Kleinau, Sulze) w. b. . . . . „ 4
Cementwarenfabrik Cossebaude Windschild & Langelott, *Wilhelm Langelott*, Cossebaude bei Dresden. (Bromberg-Weissfelde, Insterburg) w. b. . . . . „ 12
Cementwarenfabrik **Dyckerhoff & Widmann,** Süddeutsche Gruppe, Karlsruhe und St. Jobst bei Nürnberg w. b. . . . . „ 12
Cementwarenfabrik **Dyckerhoff & Widmann,** Mitteldeutsche Gruppe, Biebrich a. Rh., Dresden und Cossebaude w. b. „ 12
Cementwarenfabrik **Heinr. Graef,** G. m. b. H., Kupferdreh (Hermann Arns u. Dr. A. Bender), (Selbeck b. Saarn) w. k. b. . . . . „ 1
Cementwarenfabrik Hildesheim, Mölders & Co., Unternehmung für Betonbauten, *G. Mölders*, Hildesheim w. b. . . „ 4
Otto Clemen, Dresden-Pieschen, Leipzigerstr. 132 w. k. b. . . „ 1
Christiania Cementstöberi, H. Muksulus, Christiania, Norwegen. (Drontheim) w. b. . . . . „ 4
M. Czarnikow & Co., *Carl Czarnikow*, Berlin W., Werderscher Markt 9 k. b. . . . . „ 6
F. M. Dalhoff, *Heinrich & Hermann Dalhoff*, Borghorst i. W. w. k. b. . . . . „ 1
Deutsche Cementindustrie, A.-G., Bremen w. b. . . . . „ 1
Drenckhahn & Sudhop, Braunschweig (Hitzacker a. d. Elbe) w. b. . . . . „ 4
Dücker & Co., *Ingenieur F. C. Dücker*, Düsseldorf b. . . „ 12
Duisburger Cementwarenfabrik, Carstanjen & Co., „Victor Carstanjen*, Duisburg w. k. . . . . „ 1
Wilhelm Finger, Frohnhausen a. Lahn w. . . . . „ 1
B. Fischmann & Co., Cementwaren- und Baumaterialienfabrik, Betonbau-Unternehmung, Brünn b. k. w. . . . . „ 2
Emil Gelbrecht, Cement- und Gypsbaugeschäft, Berlin SW., Schönebergerstrasse 16 b . . . . . „ 1
Gelsenkirchener Cementwarenfabrik, Ostermann & Co., *Gutsbesitzer Joh. Ostermann u. Bauunternehmer Frz. Bielefeld*. Rotthausen w. k. b. . . . . „ 4
Eduard Germer, Stendal w. k. . . . . „ 1
Gesellschaft für Cementsteinfabrikation, Unternehmung von Betonbauten, Hüser & Co., *Commanditgesellschaft*, Obercassel, Siegkreis (Halle a. S.) w. k. b. . . . . „ 12
Grabower Cementstein-Fabrik „Comet", G. m. b. H., Stettin, Breitestr. 3 w. k. b. . . . . „ 12
A. Graf Nachf., *A. Graf Wwe., Carl Trier, Friedr. Gros*, Karlsruhe w. k. b. . . . . „ 1
Hugo Grupe, Hattorf a. Harz w. b. . . . . .
Ch. H. Gültig, Baumaterialiengeschäft und Cementwarenfabrik, *Karl Gültig*, Heilbronn a. N. w. . . . . „ 1
Rob. Grastorf, Spezial-Geschäft für Beton- und Beton-Eisenbau, Hannover, Lutherstr. 35 b. . . . . .
C. W. Horst, jr., Ingen., Hamburg, Windenstr. 7—11 w. k. b. „ 1

Gebr. Huber, *Emil Huber, Bruno Stelzer*, Breslau, Neudorfstrasse 63 w. k. b. . . . . Anteile: 9
K. Huber, Betonbauunternehmen und Cementwarenfabrikation, Frankenthal, Pfalz (Diedenhofen, Lothringen) w. k. b. „ 1
Hydrosandsteinwerk Schulze & Co., *Rudolf Otto Schulze-Sander*, Leipzig, Rudolfstr. 2 w. k. b. . . . . „ 4
Holm & Molzen, *August Holm u. Fr. Molzen*, Flensburg b, „ 1
Wilh. Jaeger, Neubrandenburg w. k. . . . . „ 1
P. Jantzen, Kunststeinfabrik Elbing, Elbing, Westpr. (Danzig, Königsberg i. P.) w. k. b. . . . . „ 6
C. Jerschke, Bau- und Betongeschäft, Rügenwalde w. k. b. . „ 1
Max Jerschke, Gleiwitz, Ob.-Schl. w. b. . . . . „ 1
Wilh. Joedecke, Architect, Nürnberg w. k. b. . . . . „ 1
Kampmann & Cie., *Baugewerksmeister H. Kampmann*, Graudenz, w. k. b. . . . . „ 1
A. Kapst, Stuck-Kunststein- und Cementdachplattenfabrik, Beuthen Ob.-Schl. (Kattowitz) w. k. b. . . . . „ 2
Wilhelm Kern, Plauen im Voigtland b. k. w. . . . . „ 2
Gebrüder Kiefer, *Josef Kiefer*, Duisburg w. k. b. . . . . „ 1
Robert Kieserling, Cementbau-Geschäft, Altona a. Elbe k. b. „ 1
Franz Kirrmeier, Speyer a. Rh. w. . . . . „ 1
Heinrich Klement, Cementwarenfabrik, Wismar i. M. w. k. . „ 1
Alwin Köhler, Baumeister, Aussig a. E. (Schreckenstein a. E.) b. w. „ 1
Theodor Köhler, Limbach i. S. w. k. . . . . „ 1
J. M. Krafft, *Emil Krafft*, Coburg w. . . . . „ 1
A. Krems, Cementwarenfabrik, *Alois und August Krems*, Freiburg i. B. w. k. b. , ... „ 2
Krutina & Möhle, *Peter Abel*, Malstatt b. Saarbrücken w. k. b. „ 1
Krutina & Möhle, Cementwarenfabrik, Untertürkheim, Oberamt Cannstatt w. . . . . „ 1
Josef Kulhavy, Baumeister und Cementwarenfabrikant, Jungbunzlau i. Böhmen w. b. . . . . „ 1
Victor Lauckhardt vorm. S. Lauckhardt, Cassel. Cementwaren- und Kunststeinfabrik k. w. . . . . „ 1
Wilh. Lehmann, Cementbaugeschäft und Baumaterialienhdlg., Quedlinburg w. k. b. . . . . .
Leipziger Cementindustrie, Dr. Gaspary & Co., Markranstaedt b. Leipzig (Dr. Alfred Gaspary & Adolf Staffelstein) w. k. „ 1
Rud. Leistner, Dortmund (Berlin C., Burgstr. 22) k. b. . . . „ 1
A. Lennig & Co., *Franz Georg Galle*, Dresdener Cementwaren- und Terrazzo-Plattenfabrik, Dresden w. k. b. . „ 1
Paul Lentze & Co., *Willy Lentze, Einbeck und Paul Lentze, Kreiensen*, Kreiensen (Wulften a. H., Braunschweig) w. k. „ 2
B. Liebold & Co., Actien-Gesellschaft, Holzminden (Dresden) w. k. b. . . . . „ 12
Märkische Kunststeinwerke Flegel & Segebarth, Wittenberge w. k. . . . . .
Gustav Manncke, Koeslin (Schlawe i. Pom.) w. k. b. . . . . „ 1
H. Maring, Kunst-Cementstein-Fabrik „Stereota", *H. Maring & Sohn Richard Maring*, Braunschweig w. k. b. . . . „ 4
C. H. Mascha, *Theodor Bauleitscheck*, Mickten bei Dresden w. k. . . . . „ 1
Mees & Nees, vorm. A. Mees, Karlsruhe (Mannheim, Pforzheim und Landau i. Pfalz) b. . . . . „ 4
Melocco, Peter, Budapest (Tennesvár, Raab & Debreczin) w. k. b. „ 2
C. W. Mohr & Co., *C. W. Mohr und Max Wilhelm*, Stralsund w. „ 1

Theodor Carl Müller, Prenzlau, Grobowstr. 6 k. . . . . Anteile: 1
A. D. Müller jr., Lüneburg w. k. b. . . . . „ 1
Neuhaus & Lambart, *Otto Neuhaus*, Hagen i. W. w. k. b. . „ 2
Johann Odorico, *Richard Wortmann*, Dresden-N. (Zwickau) b. „ 4
Hermann Opel, Cementwarenfabrik, Uhlstädt w. k. b. . . . „ 1
Otte & Fölsch, Hannover (Wilh. Otte und Ingenieur Peter Fölsch) Nicolaistr. 35 w. k. b. . . . . „ 1
Herm. Pellmann, Zittau i. S. w. k. . . . . „ 1
Fritz Pilgram, Mülheim a. Rh. b. . . . . „ 1
„Phönix", Kunststeinfabrik, Brunnenbaugesellsch. J. Meyer & Co., Briesen i. W.-Pr. w. b. . . . . „ 1
Pommersche Cementstein-Fabrik „Meteor" Köpke, Ottow & Co., *F. W. Koepke, Walter Ottow*, C. Reincke, Stolp i. P. w. k. b. . . . . „ 1
Pommersche Cement-, Röhren-, Dachfalzziegel- und Kunststeinfabrik, Baugeschäft und Baumaterialien-Handlung, Albert Rönfranz, Neu-Stettin in Pommern (Lichtenhagen bei Schlochau, W.-Pr.) w. k. b. . . . . „ 1
Portland-Cement-Werk Heidelberg u. Mannheim, Heidelberg*A.-G.* w. k. b. . . . . „ 2
Portl-Cem-Fabrik „Stern", Toepffer, Grawitz & Co., Stettin w. k. „ 1
August Potthoff, A.-G. für Betonbau, Münster i. W., Annenstr. 2 (Mannheim) w. b. . . . . „ 2
H. Reinarz, Heerdt w. k. . . . . „ 4
Riesle & Rühling, Baugeschäft, Hannover, Akazienstrasse 9 (Architekten Ad. Riesle und Gust. Rühling) w. b. . . „ 1
R. Ringel, Maurermeister, Neubrandenburg . . . . . „ 1
Gottfried Riphahn, Köln a. Rh., Richard Wagnerstr. 28 w. b. „ 1
F. A. Rössler & Co., *Richard Heydenhaus*, Chemnitz w. b. . „ 1
J. W. Roth, Baumeister, Alt-Neugersdorf i. S. b. . . . . „ 1
Sächsisch-Thüringische Portland-Cement Fabrik, Prüssing & Co., *Com.-Ges. a. A.*, Göschwitz, Bez. Dresden w. k. . . . „ 1
H. Schacht & Co., Betonbaugeschäft, Hannover (Leinhausen und Göttingen) (Architekten J. Freckmann, Hildesheim und H. Schacht, Hannover) w. b. . . . . „ 2
Wilhelm Scheide, Monier- und Betonbaugeschäft, Hamburg-Hamm, Eiffestr. 422 b. . . . . „ 1
Schlesische Dachpappen- und Kunststein-Fabrik C. H. Jerschke, *Christine Jerschke und die minorennen Kinder, Johanna, Paul, Margarethe und Charlotte Jerschke*, Breslau (Kattowitz O.-Schl.) w. k. b. . . . . „ 2
W. Schlüsselburg, Stendal w. k. b. . . . . „ 1
J. B. Schroer, Dortmund w. k. . . . . „ 1
Fritz Schulte-Oestrich, Hochlar b. Recklingshausen w. k. . . „ 1
Schulz & Herbrand, Cementkunststeinfabrik, Düren, Rhld. w. k. „ 1
Paul Schulz, Gostyn w. k. . . . . „ 1
E. Schwenk, Cement- und Cementwarenfabrik, *Carl Schwenk*, Ulm a. D. (Blaubeuren u. Allmendingen O. A. Ehingen), w. k. „ 4
Schwenzow & Co., *Paul Schwenzow*, Unkel a. Rh. w. . . „ 2
Société Internationale des Ciments et Brévets Stein, Lüttich .
Spezialgeschäft für Beton- und Monierbau, Franz Schlüter, Dortmund b . . . . . „ 6
W. Steinbrecher, Cementwaren-Fabrik, Beton-, Tiefbau- und Asphalt-Geschäft, Saarbrücken w. b. . . . . „ 1
Steinfabrik Ulm A.-G., vormals Schobinger und Rehfuss, Ulm a. D. w. k. . . . . „ 2

Direktion der Stettiner Portland-Cement-Fabrik, *A.-G.*, Stettin w.k. **Anteile: 1**
Stettin-Bredower Portland-Cement-Fabrik, *A.-G.*, Bredow a. O. w. „ 1
Stuttgarter Cement-Fabrik Blaubeuren, *Stuttgarter Immobilien- und Baugeschäft*, Blaubeuren, Württbg. w. k. . . . „ 1
Strassenbau-Gesellschaft, Zoeller, Wolfers u. Droege, *Fritz Zoeller, Richard Wolfers, Eduard Droege*, Berlin NW., Albrechtstr. 11 (Charlottenburg, Kaiserin Augusta-Allee 5a) b. . . „ 1
J. Simonis, G. m. b. H., Köln a. Rh. w. b. . . . . „ 2
Th. Teichen, *Regierungsbaumeister Carl Teichen und Architekt u. Maurermeister Ernst Dalmer*, Stralsund, Frankenstr. 75 w. „ 1
Terrast, Baugesellschaft m. b. H., Berlin, Potsdamerstr. 2. . . „ 1
Thon- und Cementwarenfabrik Heilbronn, Ludwig Stecher, Heilbronn w. . . . . „ 1
A. Thormann & J. Stiefel, Bau- und Betongeschäft, Technisches Bureau, *J. Stiefel u. Sofie Thormann*, Augsburg (Augsburg obere Lechdammstr.) w. b. . . . . „ 9
Alban Vetterlein & Co., *Alban Rob. Vetterlein und Heinrich Stricker*, Glauchau i. S. w. b. . . . . „ 1
Friedr. Vollrath, Wesel, Betonbaugeschäft b. . . . . .
Wayss & Freytag, A.-G., Unternehmung von Betonbauten und Cement-Arbeiten
1. Süddeutsche Gruppe: m. den Betrieben: Neustadt a. H. (Hauptbetrieb) München, Stuttgart, Strassburg i. E., Luxemburg (Nebenbetriebe) . . . . . „ 12
Wayss & Freytag, A.-G., Unternehmung von Beton-Bauten und Cement-Arbeiten
2. Norddeutsche Gruppe: mit den Betrieben: Berlin, Düsseldorf, Frankfurt a. M. (Nebenbetriebe) . . „ 12
Westdeutsche Steinzeug-, Chamotte- und Dinas-Werke, G. m. b. H., Euskirchen w. k. b. . . . . „ 1
Westfälische Cementwaren- u. Ringofen-Werke, G. Hüsing & Le Claire, G. m. b. H., Burgsteinfurt (Schüttorf) w. . . „ 1
Württemberg. Portland-Cementwerk, Lauffen a. N. w. . . . „ 1
Wunstorfer Cementindustrie G. m. b. H., Wunstorf-Bahnhof (A. Brosang Wunstorf und F. Lampe Kirchohsen) w. k. b. „ 1
David Zisseler, Wetzlar w. . . . . „ 1

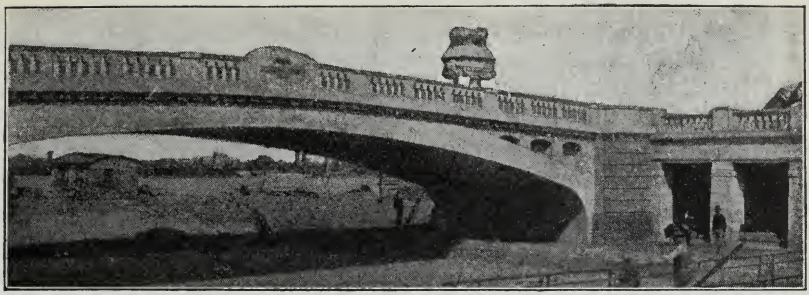
B. Ausserordentliche Mitglieder.

Actien-Gesellschaft Höxter'sche Portland-Cement-Fabrik vorm. **J. H. Eichwald Söhne,** Höxter i. W.
„Adler", Deutsche Portland-Cement-Fabrik, *Aktiengesellschaft*, Berlin SO.
Augustushütte Drees & Co., Eisengiesserei und Maschinenfabrik, Augustushütte zu Burgsteinfurt.
Bayerisches Portland-Cement-Werk, Marienstein, Act.-Ges., Marienstein, Station Schaftlach.
A. Bernoully & Co., *A. Bernoully und Aklam*, Berlin NW., Albrechtstr. 9.
Beton-Baugerüst-Gesellschaft, G. m. b. H., Neumünster i. H., (Inh.: Architekt A. Puck Husum, W. Schlichting Neumünster und Kaufmann Ed. Smack).
Bonner Bergwerks- & Hütten-Verein A.-G., Cementfabrik b. Obercassel b. Bonn.
Bürener Portland-Cement-Fabrik Büren i. W.
Dyckerhoff & Söhne, Portland-Cement-Fabrik, Amöneburg.
F. C. Engel, Berlin NW., Schiffbauerdamm 19.
Gewerkschaft Carl-Otto, Adelenhütte, Post Porz a. Rh.
Hannoversche Portland-Cement-Fabrik, Actiengesellschaft, Misburg b. Hannover, Georgenstr. 32 I.
Fritz Hauenschild, Berlin N., Reinickendorferstr. 2b.

Joh. Fr. Kleine, Baumeister, Erbach i. Rheingau.
Lägerdorfer Portland-Cement-Fabrik, Hamburg.
Maschinenfabrik Rhein & Lahn, Gauhe, Gockel & Co., Oberlahnstein.
H. Metzger, Baumeister, Stuttgart. Seestr. 62.
Oberschlesische Portland-Cement-Fabrik, *Actien-Gesellschaft*, Oppeln.
Oppelner Portland-Cement-Fabriken vorm. **F. W. Grundmann**, *A.-G.*, Oppeln.
Pommerscher Industrie-Verein auf Actien, Stettin
Portland-Cement-Fabrik Rüdersdorf, R. Guthmann & Jeserich, Berlin NW, Friedrichstr. 138.
Portland-Cement-Fabrik „Germania", A.-G., Lehrte.
Portland-Cement- & Thonwerk, Gewerkschaft „Mirke", Zollhaus b. Limburg a. d. Lahn.
Portland-Cement-Werke „Rhenania", Act.-Ges., Neu Beckum i. W.
Portland-Cement-Werke Höxter-Godelheim, Actien-Gesellschaft, Höxter i. W.
Portland-Cement-Fabrik vorm. **Heyn Gebrüder**, Act.-Ges. in Lüneburg.
Portland-Cement-Fabrik Halle a. S., Halle a. S.
Portland-Cement-Fabrik „Port Kunda", J. J. Girard & Co., Port-Kunda, Estland, Russland.
Hugo Pohle, Stettin.
Schlesische Actien-Gesellschaft für Portland-Cement-Fabrikation zu Groschowitz b Oppeln.
Wunstorfer Portland-Cement-Werke, Actien-Gesellschaft, Wunstorf.
C. Schlickeysen, Rixdorf bei Berlin, Bergstr. 103/106.
A. Stapf, Regierungsbaumeister, Berlin W., Lützowstr. 62.
Stettin-Gristower Portland-Cement-Fabrik, Actien-Gesellschaft, Gristow bei Cammin i. Pomm.
Vorwohler Portland-Cement-Fabrik, Planck & Co., Com.-Ges. a. A., Hannover.
Wicking'sche Portland-Cement- und Wasserkalkwerke, *A.-G.*, Recklingshausen.
Max Heinrich Windscheid, Erpel a. Rh

C. Berathende Mitglieder.

1. Baudirektor Professor **C. von Bach**, Vorsteher der Kgl. Materialprüfungsanstalt, Stuttgart.
2. Professor **F. W. Büsing**, Friedenau bei Berlin.
3. **E. Cramer**, Chemisches Laboratorium für Thonindustrie, Berlin NW. 5, Kruppstr. 6
4. Ingenieur **Gary**, Abteilungsvorsteher der Kgl. mech. tech. Versuchsanstalt, Charlottenburg.
5. Regierungsrat **Dr. Hecht**, Chem. Laboratorium f. Thonindustrie, Berlin NW. 5, Kruppstr. 6.
6. Baurat Professor **Lucas**, Dresden.
7. Geheimer Regierungsrat Professor **A Martens**, Direktor der Königl. mech. tech. Versuchsanstalt Charlottenburg.
8. **Dr. W. Michaelis**, Berlin NO., Friedenstr. 19.
9. Professor **Max Möller**, Braunschweig.



VII. Die Ausstellung des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten und des Deutschen Beton-Vereins.

a. Die Gesamtanlage.

Die Ausstellung soll Zeugnis ablegen von der Sorgfalt, mit der deutscher Portland-Cement hergestellt und geprüft wird, sowie von der Leistungsfähigkeit der deutschen Cement- und Betonbau-Industrie; sie soll den Beweis liefern, dass Beton- und Kunststeinbauten in der Vielseitigkeit der Konstruktionsmöglichkeiten den Bauten aus Naturstein und anderem Material mindestens ebenbürtig sind, ohne dabei in ästhetischer Beziehung hinter jenen zurückzustehen.

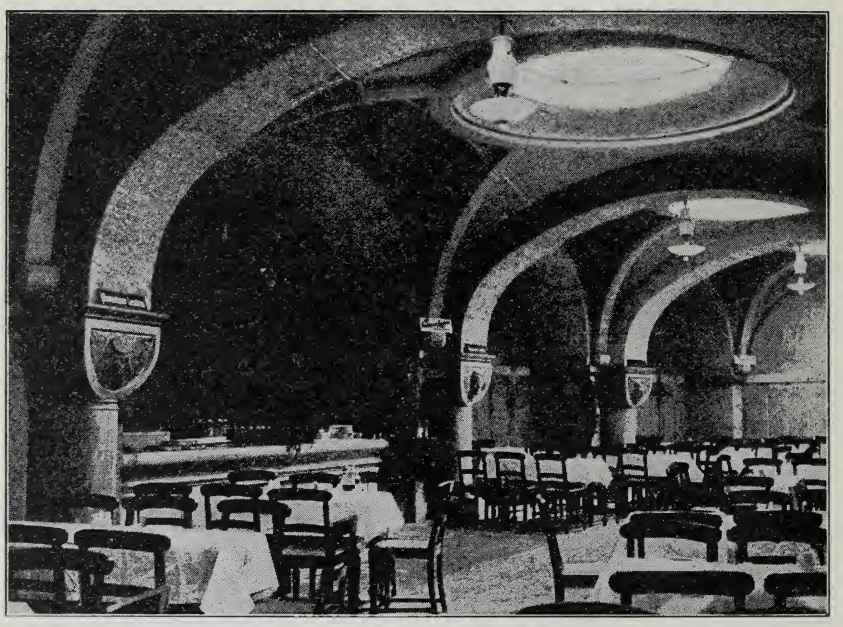
Die mannigfachen Arten der Verwendung von Beton und Cement im Hochbau wie im Tiefbau darstellend, bildet die Ausstellung des Deutschen Beton-Vereins ein hervorragendes Denkmal deutscher Betonbaukunst, welches auch nach Beendigung der Ausstellungszeit erhalten bleiben und dem Namen seines Schöpfers, wie den Ausstellern, alle Ehre machen wird.

An einem der bevorzugtesten Plätze der Ausstellung gelegen, gliedern sich die Betonbauten in die jetzige, wie nach Beendigung der Ausstellung in die spätere Umgebung harmonisch ein. (Vergl. den Lageplan S. 6). Dem Kunstpalast vorgelagert, bilden sie einen in kräftigen Zügen angelegten Aufgang vom Rhein und der etwa 4 m tiefer als das Ausstellungsgelände ge-

legenen Rheinpromenade zu der die ganze Ausstellung durchziehenden breiten Hauptallee.

Zwischen zwei hochragenden Säulen erhebt sich inmitten eines weiten Wasserbeckens, flankiert von prächtigen Säulenhallen, eine mächtige Gruppe, den Kampf zwischen Centauren und Seeschlangen darstellend, und entsendet riesige Wassermassen über Kaskaden zu einem tiefer gelegenen, sich bis zur Rheinwerft hinziehenden Teiche.

Die beiden Säulen mit kräftig gegliedertem Unterbau sind bekrönt von goldenen Genien, die weit ins Land hinein strahlen. Die in wuchtigen Formen gehaltenen Mittelfelder der Säulensockel tragen die Medaillons Sr. Majestät des deutschen Kaisers, des unermüdlichen



und eifrigen Förderers und Schirmers deutscher Kunst und deutscher Wissenschaft, und des hohen Protektors der Ausstellung, Sr. Kaiserlichen und Königlichen Hoheit des deutschen Kronprinzen. Beide Bildnisse sind modelliert von Prof. Uphues, Berlin.

Die hochgelegene Uferpromenade wird auf kühner, 30 m gespannter Betongelenkbrücke über die Wasseranlage hinweggeführt. Auf der Höhe der Rheinwerft schliessen sich an die beiden Brückenwiderlager geräumige Hallen mit künstlerisch ausgeführten Fassaden an, die sich unter der Figurengruppe und hinter den Kaskaden zu einem Mittelbau vereinigen.

Diese Hallen bilden während der Ausstellungszeit die Ausstellungsräume für die Betonbau- und Cementindustrie, enthalten ausserdem

ein vornehmes Restaurant und werden nach Schluss der Ausstellung zu Wandelhallen und Restaurants eingerichtet. Ein leichter Steg verbindet die beiden besonders reich gestalteten Portale der Ausstellungshallen.

Seitlich der Kaskaden führen breite Freitreppen hinauf zum oberen Gelände.

Unter den Kaskaden zeigen uns Grotten, dass Menschenhand selbst die grossartigen Naturgebilde des Urbetons, die wir an den Gebirgsriesen der Schweiz bewundern, getreulich nachzubilden versteht.

Das ist in kurzem eine Beschreibung des Gesamtbildes, das in allen seinen Teilen aus Beton und Kunststein, teils in Massivbau, teils in Verbindung mit kühnen Eisenkonstruktionen zusammengesetzt ist.

---

b. Die Mitarbeiter am Werke und die Bauausführung.

Wie bereits erwähnt, stammt der Plan zu der Ausstellung von dem Düsseldorfer Architekten *A. Bender*. Zu seiner Verwirklichung haben sich der *Verein deutscher Portland-Cement-Fabrikanten* und der *Deutsche Beton-Verein* zusammengethan.

Die kolossale Figurengruppe, modelliert von Prof. Carl Jansen, Düsseldorf, wurde in kürzester Zeit aus einem Stück hergestellt. Der hohle Kern besteht aus Beton, auf den ein äusserer Mantel aus einer Steinsandmischung aufgebracht ist. Die bedeutenden Schwierigkeiten und Kosten, die der Ausführung eines solchen Monumentes in natürlichem Stein aus einem Stück entgegenstehen, sind durch die Ausführung in künstlichem Stein zum grossen Teil behoben; dabei ist die Dauer, die Wetterbeständigkeit eines solchen Monumentes nicht geringer als die eines gleichen in echtem Stein. Diese Gruppe, der architektonische Unterbau der beiden Monumentalsäulen mit seinen Marmorimitationen, und die beiden Aufbauten über den Portalen sind von der Firma *E. Schwenk, Ulm a. d. D.*, ausgeführt, und zwar sind alle dazu verwandten Materialien, auch der Cement, in eigenen Betrieben gewonnen bezw. hergestellt. Die Hallenbauten seitlich des Wasserbeckens wurden von *Hüser & Cie., Obercassel, Siegkreis,* ausgeführt. Die Treppenstufen

an den Säulen von *Neuhaus & Lambart, Hagen* geliefert. Die Bearbeitung der Steine in den Quadern und Ornamenten ist genau wie bei natürlichem Stein durchgeführt. Besonders zu beachten sind die Eckfiguren an den Säulensockeln, aus einem Stück bestehend, und die grossen Füllungsplatten in den Portalen.

Die Pumpe für die Wasserkunst (18 d. Grundrisses S. 7) stellte die Firma *J. Losenhausen* auf.

Die Figurengruppe ruht auf mächtigen Gewölbekonstruktionen, ganz aus Beton ohne Eiseneinlagen erbaut. Die Gewölbeformen zeigen bei der starken Belastung durch die Gruppe neben Kühnheit der Spannung die leichte Anpassungsfähigkeit der Betonkonstruktion an jegliche Form bei Wahrung eines gefälligen Aussehens. Auch hier besteht der Kern aus Kiessandbeton und ist eine besondere Mischung für die sichtbaren Flächen verwandt, welche, vom Steinhauer bearbeitet, ein lebendiges und prächtiges Bild bieten. Der ganze Mittelbau einschliesslich der Kaskaden und des unteren Wasserbassins ist von der Firma *Dücker & Co., Düsseldorf* ausgeführt, die bebaute Fläche beträgt 1700 qm. Besondere Schwierigkeiten entstanden beim Bau der Aussenwandungen, welche als Stützmauern einen bedeutenden Erddruck auszuhalten haben und ausser dem in unmittelbarer Anlehnung an das Schienengeleise errichtet werden mussten, auf welchem die schweren Transportzüge ständig vorbeirollten. Grosse Freitreppen von der Firma *J. Simonis, Cöln* in kunstvoller Weise in Granitimitation ausgeführt, verbinden das obere Ausstellungsgelände mit den tieferliegenden Wandelgängen.

Die eigentlichen Ausstellungshallen zu beiden Seiten sind in ihren Rückwänden ebenfalls als freistehende Stützmauern konstruiert und in Stampfbeton ausgeführt. Die Fassaden sind in ganzer Länge und Höhe in einem Stück in bis in die Einzelheiten vorher aufgebauter Verschalung eingestampft, wobei äusserlich eine ähnliche Steinmehlmischung wie vorerwähnt verwandt wurde. Nach Entfernung der Schalung stand die Fassade mit allen Gliedern und Fugenteilungen zur Bearbeitung für den Steinhauer fertig, die der Aussenfläche ein derartig natürliches Aussehen verliehen hat, dass es selbst dem Fachmann schwer werden dürfte, den Unterschied zwischen Kunst- und Naturstein zu finden.

Rückwände, Fussböden und Fassaden sind von der *Gesellschaft für Cementsteinfabrikation Hüser & Co., Obercassel Siegkr.* hergestellt, ebenso die Ausstattung der Hallenwand an dem Brückenwiderlager in der nördlichen, rheinabwärts gelegenen Halle (1 des Grundrisses S. 7), welche in Cementantragearbeit eine von dieser Firma bei Hannover als Betongelenkbrücke mit Stahlgelenken ausgeführte Flutbrücke darstellt.

Die massiven Decken in den beiden Hallenbauten sind von der Firma *Wayss & Freytag, Akt.-Ges. in Neustadt a. d. H.* ausgeführt worden. Um eine Uebersicht über die gebräuchlichsten Anwendungsarten der Betondecke zu geben, sind 12 verschiedene Varianten vorgeführt, welche bis auf 2 in eisenarmiertem Beton zur Ausführung gelangt sind. Trotz der grossen Tiefe des Raumes von 8,05 m im Lichten ist von einer Zwischenunterstützung abgesehen worden, zum Beweise, dass durch Betondecken mit Eisenarmierung Spannweiten bewältigt werden können, wie kaum von einer anderen Konstruktion. Die Nutzlast, für welche die Berechnung nach den Vorschriften der Düsseldorfer Baupolizei geschah, beträgt einschliesslich Aufschüttung und Gefällbeton 850 kg/qm. Die grössten Beanspruchungen des Materials betragen bei dieser Belastung für den Beton 30 kg/qcm, für das Eisen 1000 kg/qcm.

Zwei zu beiden Seiten des Haupteinganges im nördlichen Flügel befindliche Tafeln geben Aufschluss über die Verteilung der einzelnen Ausführungen, während die ebenda (2 des Grundrisses) ausgestellten Modelle wesentlicher Teile der Decken in natürlicher Grösse die Konstruktion näher erläutern. Grosse Vorzüge aller Betondecken sind geringe Konstruktionshöhe bei ausserordentlich weiten Spannungen, geringes Eigengewicht und völlige Feuersicherheit.

Die Brüstungen über den beiden Hallenbauten sind in Cementkunststein ähnlicher Bearbeitung wie bei den Fassaden von *Carstanjen & Co., Duisburg* kunstvoll und gediegen hergestellt und die mächtigen Fundamente zu den beiden hochstrebenden Monumentalsäulen, die Schafte und Kapitäle in Beton und Kunststein hat die Firma *Liebold & Co. A.-G., Holzminden* erbaut. Da diese beiden Säulen zu den Wahrzeichen der Ausstellung rechnen und für die Dauer bestimmt sind, sei auf ihre Herstellung etwas näher eingegangen.

Die Höhe der Säulen, welche einschliesslich der krönenden Viktoria etwa 35 m beträgt, brachte erhebliche Schwierigkeiten während des Baues mit sich. Der Baugrund besteht aus aufgeschüttetem Rheinkies; der Einfluss des Winddruckes muss sowohl wegen der Höhe der Säulen und der mächtigen Auskragung des Kapitäls in Verbindung mit der grossen Angriffsfläche der Figuren, als auch wegen des grossen Hebelarmes ganz bedeutend sein. Für die statische Untersuchung der Säulen wurde deshalb der Sicherheit halber ein Winddruck von 150 kg/qm angenommen, obwohl nach dem Gutachten der Akademie des Bauwesens vom 13. Juli 1889, bestätigt aufs Neue am 17. April 1899,

die Annahme eines Winddruckes von 125 kg/qm wie für Schornsteine, genügt haben würde.

Die Fundamente sind bis auf 5,50 m unter die Bodenfläche herabgeführt worden und bestehen aus 13,00 m im Quadrat grossen und 1,40 m starken Platten aus Beton in Mischung 1 : 10. In die Fundament-Platte wurde ein liegender Rost von I-Trägern gelegt, um etwaige Bildung von Rissen zu verhindern. Der durch das Fundament auf den Baugrund übertragene Druck beträgt 1,5 kg/qcm.

Auf dem Fundament erhebt sich der 12,30 m hohe Fuss der Säule, dessen Oberkante etwa 8 m über der Bodenfläche liegt; derselbe verjüngt sich nach oben in einzelnen Absätzen und zwar in der Weise, dass der Grundriss ein Quadrat bildet, während er im obersten Teil aus einem Achteck mit 3 m grossem inneren Radius besteht. Im Innern des Fusses ist eine Aussparung in Form eines abgestumpften Kegels bezw. im oberen Teile in Form eines Cylinders gelassen. Dieser Raum ist von aussen aus zugänglich und mit Hilfe von Steigeisen ist die Säule im Innern in ihrer ganzen Ausdehnung zu besteigen.

Die Höhe des Säulenschaftes von der Plinthe bis zum Kapitäl beträgt 15,88 m, wobei der äussere Durchmesser sich allmählig von unten nach oben von 2,25 m auf 1.88 m verjüngt. Der untere Teil des Schaftes ist im Zusammenhange mit dem Fuss in Mischung 1 : 7½ gestampft worden, der übrige 14 m hohe Teil besteht aus einzelnen Ringen mit Hinterstampfung. Die Ringe sind 1 m hoch, ihre Wandstärke beträgt 10 cm, von denen 2 cm als äussere Verblendschicht in Mischung 1 : 2, der Kern in Mischung 1 : 5 ausgeführt ist. Jeder Ring hat eine Eisenarmierung aus 15 mm Rundeisen erhalten, bestehend aus 3 horizontalen Lagen und 6 verticalen Stangen, welche durch kleine Ringe mit einander zu einem Ganzen verbunden sind. Die Ringe sind in einer verlorenen Form an Ort und Stelle gestampft worden, die Verblendschicht ist durch Zusatz von Erdfarbe gelb gefärbt.

Die Hinterstampfung der Ringe hat eine Stärke von 30 cm erhalten und ist in Mischung 1 : 10 ausgeführt. Auch hier ist eine Armierung aus 6 Rundeisen von 25 mm Dicke angebracht. Die sich ergebenden Druckspannungen betragen nur etwa 10 kg/qcm.

Die Verwendung von Ringen mit Hinterbetonierung derselben nach dem Versetzen bringt die Gefahr des Ausblühens von Aetzkalk auf der Aussenfläche der fertigen, genügend erhärteten Ringe mit sich, wenn man nicht verhütet, dass die Feuchtigkeit des Cementwassers des innerhalb eingestampften frischen Betons in den Mörtel der fertigen Ringe eindringt. Um dies zu verhindern, sind die Ringe innen mit einem Goudronanstrich versehen und ebenso die Fugen der einzelnen Ringe nach dem Versetzen durch einen solchen Anstrich von innen gedichtet.

Das Kapitäl hat eine Höhe von 5,50 m und ladet seitlich 1,10 m aus. Soweit, wie es der Form nach möglich war, wurden die einzelnen

Teile ebenfalls aus Ringen hergestellt, deren Anfertigung denen des Schaftes entsprechend war. In den Fällen, in denen die Anwendung der Ringform wegen der zu grossen Masse sich als unthunlich erwies, sind die einzelnen Stücke des Kapitäls aus 4 Teilen zusammengesetzt und durch eiserne Verankerungen dicht zusammengefügt worden. Die Herstellung der erforderlichen Kunststeine erfolgte in der Fabrik zu Holzminden.

Das Kapitäl ist oben durch eine Kuppel, welche in Blech getrieben ist, abgeschlossen und wird durch eine vergoldete Viktoria von etwa 5 m Höhe gekrönt.

Zur Bereitung des Betons wurde Rheinsand bezw. Kies verwendet.

Von dem Beton wurden 4 Proben an die Königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt in Berlin-Charlottenburg gesandt; 2 Probekörper waren aus dem Fundament der südlichen Säule gemeisselt, die beiden andern aus der Mischung 1 : 7½ für den unteren Teil des Schaftes derselben Säule entnommen. Die Versuche ergaben bei den 7 Wochen alten Probekörpern der Mischung 1 : 7½ Risse und vollständige Zerstörung annähernd gleichzeitig bei einer Druckspannung von 175 kg/qcm.

Bei den aus dem Fundament entnommenen Proben 1 : 10 traten Risse bei 124 bezw. 130 kg/qcm ein, während die Zerstörung bei 132 bezw. 152 kg/qcm erfolgte.

Ausser der Firma *B. Liebold & Co. A.-G.* sind bei der Herstellung der Säulen noch folgende Firmen beschäftigt gewesen: *E. Schwenk, Cementfabrik Ulm a. D.* ist mit der ornamentalen Ausschmückung des Fusses der Säule beauftragt worden; *Zobus & Eisenmenger* haben das Modell für das Kapitäl geliefert; *Carl Fecht, Oberhausen, Rheinland,* lieferte die Kuppel und die Figuren auf den Säulen und *Gebrüder Kiefer, Duisburg,* haben die Gerüste vorgehalten und aufgestellt.

An den Eingängen zum Restaurant seitlich der Freitreppen und im Inneren an den Achteckräumen finden sich sauber bearbeitete Treppenstufen der Firma *Schulte-Östrich, Hochlar bei Recklinghausen.*

Der Brückensteg vor den Kaskaden (12 des Grundrisses) besteht aus den bekannten *Koenen'schen* Voutenplatten mit 4,0 m Spannweite in dem Mittelfeld und je 3,0 m in den Seitenfeldern und ist für eine Verkehrslast von 400 kg/qm (Menschengedränge) berechnet. Die Platten sind 10 cm stark und besitzen als Nutzboden einen 3 cm starken Cementestrich. Ausgeführt ist der Steg von der *Aktien-Gesellschaft für Beton- und Monierbau, Berlin,* welche auch das bei *Otto Schulz, Kunstschmiede- und Gitterfabrik, Berlin,* hergestellte Geländer mitlieferte.

Den Abschluss zum Rhein bildet die bereits erwähnte 30 m weit gespannte Betongelenkbrücke. Weniger die Spannweite als das Ver-

hältnis der Pfeilhöhe zur Spannweite sind bewunderswert. Gleich flache Gelenkbogen dürften wohl bis heute in Beton oder Stein nicht ausgeführt sein. Die Brücke ist für schwerste Belastung konstruiert. Besondere Schwierigkeiten boten sich bei der Anlage der Fundamente durch Verschiedenheit des Baugrundes und die erforderliche Fundierungstiefe, da das gesamte Ausstellungsgelände aus angeschüttetem Boden besteht. Ziemlich umfangreiche Wasserhaltung war erforderlich. Die Bogengelenke bestehen aus Granitquadern, der ganze übrige Bau aus Beton und zwar teilweise aus Kies- teilweise aus Steinschlagbeton. Die Aussenflächen sind mittels Steinmehlvorlage hergestellt. Hier wirkt bei Nachbildung der verschiedenen Steinsorten besonders die kräftige Bearbeitung durch den Steinhauer belebend und natürlich. Die Brücke mit den Pylonen und Brüstungen ist ausgeführt von der Firma *Dyckerhoff & Widmann, Biebrich a. Rh.*

Die Brücke ist am 5. April 1902 einer Probebelastung unterzogen worden, wobei die Bewegungen an 10 Punkten der Brückenstirnen mit genauen Messapparaten kontroliert wurden. Die Apparate wurden mit den beiden Gewölbestirnen derart in Verbindung gebracht, dass an 4 Kämpferpunkten horizontale Bewegungen und an 5 Gewölbepunkten senkrechte Bewegungen gemessen werden konnten.

Als Belastung diente ein Dampfwalzengewicht von 27 t und Menschengedränge von 450 kg/qm, beides in der ungünstigsten Laststellung für das Brückengewölbe durch Erdschüttung aufgebracht. Die Ergebnisse der Probebelastung wiesen als grösste Scheitelsenkung 1,235 mm und als grösste Horizontalbewegnng der Widerlager 0,6775 mm nach.

Die grossen 8 m breiten Freitreppen, welche von der Brücke zur Rheinwerft führen, sind von der *Gelsenkirchener Cementwarenfabrik, Ostermann & Co., Rotthausen* geliefert und bestehen aus Cementquarzstein, der an Härte dem Granit nahe kommt. Die Treppenwangen und Abdeckungen sind aus Beton mit Steinmehlmischung ohne Farbenzusatz angefertigt und vom Steinhauer überarbeitet. Aehnliche Ausführung zeigen die beiden Freitreppen seitlich der Kaskaden (14 des Grundrisses), welche in sehr feiner Ausführung von *J. Simonis, Cöln* G. m. b. H. geliefert wurden.

Verschiedene Figuren und Ornamente sind von *J. Brenzinger, Freiburg* geliefert. Bei diesen Stücken, welche ein nicht minder natürliches Aussehen zeigen, wie die vom Steinhauer bearbeiteten Fassadenteile, ist ein eigenes Verfahren angewandt, welches eine billige Herstellung möglich macht.

Erwähnt sei noch, dass die Fussböden in dem Restaurant (19 des Grundrisses) von der *Leipziger Cementindustrie, Dr. Gaspary & Co., Markranstädt bei Leipzig* aus „Marmaracement“ hergestellt sind; die Platten zeigen frische Farben und eine ganz bedeutende Festigkeit der Oberfläche.

In dem achteckigen Raum neben dem Kuppelbau (20 des Grundrisses) lieferte *H. Reinarz in Heerdt bei Neuss* ähnliche Fliesen, denen man stahlharte Oberfläche und ausschlagfreie frische Farben nachrühmt.

In den übrigen Räumen sind die Böden von *Hüser & Co., Obercassel Siegkreis* geliefert und hergestellt. Es sind einfache graue Betonböden mit gefärbten Friesen, Beläge aus einfachen glatten und gefärbten, gerippten und gekuppten Cementplatten, aus Granitoidplatten und schliesslich aus Mosaikplatten. Die einfach grauen und gefärbten Cementplatten sind Handarbeit, die gekuppten Granitoid- und Mosaikplatten sind auf besonderen Pressen hergestellt worden. Die Podeste der Freitreppen neben den Kaskaden sind mit Mosaik-Zierpflaster aus cylindrisch geformten Steinen (System Schütte) seitens der Firma Liebold & Cie., A. G., Holzminden, belegt.

Soweit reichen die Ausstellungsobjekte als Bestandteile der nach Schluss der Ausstellung bestehen bleibenden Bauten.

---

c. Die Einzelaussteller.

Eine eingehende Beschreibung der nur als Ausstellungsgegenstände für die Ausstellungszeit gelieferten Baulichkeiten, Modelle, Zeichnungen, Waren usw. würde zu weit führen, ist auch kaum erforderlich, da die einzelnen Gruppen und Teile auf Schildern genaue Bezeichnungen und Erläuterungen tragen. Nachstehend sei nur auf die wichtigsten Teile und Gegenstände hingewiesen.

In den geschlossenen Ausstellungshallen finden wir im südlichen, rheinaufwärts gelegenen Flügel (11 des Grundrisses) zunächst die Ausstellung der Firma *Dyckerhoff & Widmann, Biebrich a. Rh.*, zahlreiche Modelle ausgeführter Brückenbauten, Zeichnungen, Photographien ausgeführter Bauten usw.

In dem nördlichen rheinabwärts gelegenen Flügel (1 des Grundrisses) befindet sich die Ausstellung von *Hüser & Cie., Obercassel Siegkreis.* Während die Kopfwand in Antragearbeit eine bei Hannover ausgeführte Betongelenkbrücke mit Stahlgelenken als Reliefbild und in deren Bogenöffnungen die Reliefs der Fabriken der Firma darstellt, zeigt ein Kanal, in bergmännischem Stollen bezw. Streckenbau in das Gelände vorgetrieben und in einem Etagenschachte endend, in verschiedenen Stadien der Fertigstellung eine besondere Methode, Kanäle in grossen Tiefen, gefährdeten Strassen, namentlich unter Eisenbahndämmen ohne Betriebsstörungen und ohne Senkungen in der Oberfläche der Strasse zu bauen. Im Vordergrunde steht ein Modell einer Betongelenkbrücke mit Granitgelenken von 25 m Spannweite, ausgeführt bei Hagen i. W., seitlich 2 Modelle ausgeführter Gasbehälterbauten und eine Baderaumeinrichtung mit Wanne ganz in Granitoid geschliffen. Der Fussboden besteht aus den bereits erwähnten Mosaik-

platten verschiedenster Muster. Im Uebrigen enthält der Raum photographische Aufnahmen interessanter Baustellen, Zeichnungen und Konstruktionen ausgeführter Bauten, eine Sammlung alter und sehr starker Beanspruchung ausgesetzter Cementwaren, auch Rohmaterialien usw.

Anschliessend hieran (2 des Grundrisses) zeigt die Ausstellung der Firma *Wayss & Freytag, A.-G., Neustadt a. d. Hardt,* die bereits erwähnten Modelle von ausgeführten Beton- und Betoneisenkonstruktionen, namentlich auch der Decken über den Ausstellungs-Hallen. Auf geschmackvollen Tischen und Tafeln finden sich Zeichnungen und Photographien ausgeführter Anlagen, Materialproben usw. Da diese Deckenkonstruktionen im gewissen Sinn typisch sind für alle Betondecken, sollen sie kurz beschrieben werden.

1. Wayss'sche Spanndecke D. R. P. No. 109964 für beliebige Belastungen und Spannweiten bis 7,0 m. Die geringsten Kosten erheischt die Decke bei einer Spannweite von 3,5 – 4,0 m. Im vorliegenden Falle ist die Decke auf 6,5 m zwischen I-Trägern gespannt und sind die Eisen an den oberen Flanschen der Träger umgebogen. Der wesentliche Unterschied vor anderen Konstruktionen ist der, dass die Eiseneinlagen nicht in einer Stärke durchlaufen, sondern den Beanspruchungen entsprechend, mit Hilfe gelenkartiger Verbindungen im Querschnitte wechseln.

2. Decke in Eisenbeton-Bauweise mit architektonischer Gliederung des Gebälkes. Das unter 1. erwähnte Prinzip bei Verwendung der Eiseneinlagen gilt auch für diese Konstruktion. Die horizontale ebene Decke findet ihr Auflager auf balkenförmigen, eisenarmierten Betonträgern, die zusammen mit der Decke ausgeführt, durch Vermeidung jeglicher Trennungsfuge ein vollkommen starres System bilden und Schwingungen (z. B. durch Maschinen und Transmissionen) ausserordentlich widerstehen. – Ausser den Zug aufnehmenden Eiseneinlagen erhalten die Unterzüge noch solche zum Aufnehmen der Scheerkräfte, die in Bügelform vom Balken in die Decke übergreifen und so die Verbindung zwischen beiden noch weiter sichern. Durch Hinzufügung von Blindbalken können architektonische Wirkungen erzielt werden, wie die Probedecke zeigt, bei der die Balken zu einem Muster zusammengefügt sind und eine entsprechende Verzierung erfahren haben.

3. Zellendecke. Diese verbindet mit den Vorzügen der anderen massiven Decken den der verhältnissmässig grossen Leichtigkeit. Besondere, äusserst leichte, aus Thon gebrannte Hohlsteine werden reihenweise so auf eine etwa 4 cm dünne Betonschicht gelegt, dass zwischen diesen Reihen etwa 4 cm starke Stege entstehen, welche die Eiseneinlagen aufzunehmen haben und dann mit Beton ausgefüllt werden. Als Druckgurt wird über dieser Steinlage wiederum eine dünne, der Beanspruchung entsprechende Betonschicht hergestellt. Die Ausführung kann sowohl zwischen I-Trägern als auch zwischen

Mauern erfolgen und die Untersicht kann eben gestaltet oder, wenn die Träger eine bedeutende Höhe erreichen, auch mit voutenförmigen Ausrundungen versehen werden.

4. Kassettendecke in Eisen-Betonweise. Nach demselben System wie die Decke unter No. 2 ausgeführt, nur dass die Anordnung des Gebälkes zur Erzielung einer möglichst grossen Tragfähigkeit bei geringstem Materialaufwand eine besondere ist. Die Spannweite ist verhältnismässig klein gewählt und dadurch, dass die Unterzüge so gelegt sind, dass sie Kassetten bilden, erreicht, dass die Decke als eine auf 4 Seiten ruhende Platte betrachtet werden kann. Trotz der hohen Belastung der Decke ist sie nur 6 cm dick mit einer ganz geringen Eisenarmierung. Die niedrigen Balken erfordern ihrerseits wegen der kleinen gegenseitigen Entfernung äusserst wenig Eisen, so dass die Herstellungskosten niedrig bleiben. Besonders geeignet ist die Konstruktion für schwerbelastete Böden.

5. Decke in Eisenbeton-Bauweise. Dasselbe System wie unter No. 2 und 4, in seiner ursprünglichen Form in Anwendung gebracht. Die Balken selbst sind an die strenge Einhaltung der geraden Richtung durchaus nicht gebunden, sondern können unbeschadet ihrer Tragfähigkeit, wie gezeigt, der bogenförmigen Gestalt des Raumes folgen.

6. Moniergewölbe. Als erste Deckenkonstruktion im südlichen Flügel finden wir Moniergewölbe zwischen I-Trägern. Auf ihre grosse Tragfähigkeit, Feuersicherheit, Schnelligkeit in der Ausführung, Ermöglichung eines geringen Stiches bei den grössten Spannweiten ist bereits hingewiesen.

7. und 8. Holzer-Decke. D. R. P. No. 78 498. Namentlich für Wohnhäuser geeignet. Die Schalung ist entbehrlich und wird durch eine zugleich als Putzträger dienende Rohrmatte ersetzt.

9. Zellendecke. Die Konstruktion ist im wesentlichen die gleiche wie bei No. 3, nur mit dem Unterschiede, dass von einer Einspannung der Eiseneinlagen an den Trägern abgesehen wird, diese vielmehr auf den unteren Flanschen der I-Träger aufliegen. Es wird dann die untere Betonplatte entbehrlich, und die zu Tage tretende Steinfläche kann mit beliebigem Putz bedeckt werden. Die Stärke der Decken kann durch hoch- oder flachkantiges Verlegen der Steine vergrössert oder vermindert werden, sodass nur, wenn überhaupt, ein kleiner Raum bis Träger-Oberkante zur Auffüllung übrig bleibt.

10. Gerade Monier-Decke. Auf den Unterflanschen von I-Trägern liegt eine gerade Betonplatte, welche nahe der Unterseite ein Geflecht aus Rundeisen besitzt. Da die Eiseneinlage in zwei Richtungen geht, kann sie in jeder Richtung schwächer gehalten werden, als bei den anderen eisenarmierten Decken. Auf den Oberflanschen der I-Träger liegend, kann die Decke auch durchgehend konstruiert werden.

11. und 12. Stampf-Beton-Gewölbe und gerade Stampfbetondecke. Zur Vervollständigung der gebräuchlichsten Massivkonstruktionen wurde auch die bekannte Auswölbung in Stampfbeton zwischen I-Trägern und die ebene Betondecke ohne jegliche Eiseneinlage zur Ausführung gebracht.

Interessante Wasserkraftanlagen, Turbinen, Aquädukte führt jenseits des Portales (3 des Grundrisses) in Modellen und Zeichnungen die Firma *A. Thormann & J. Stiefel, Augsburg,* vor.

In ähnlicher Weise schliesst sich die Ausstellung der Firma *Liebold & Cie., Holzminden* an, mit Modellen, Photographien und Zeichnungen ausgeführter Brücken, Behälter, Stauanlagen, Fundirungen usw. (4 des Grundrisses).

Es folgen die Ausstellungen von *Joh. Odorico, Dresden,* mit Zeichnungen, Modellen und Photographien von Gas- und Wasserbehältern in Stampfbeton, von Silos und Mälzereigebäuden in Betoneisenkonstruktion nach System Hennebique (5 d. Gr.) und

die *Steinfabrik Ulm* mit Photographien von Betonbauten und Kunststeinen.

Auch *Dücker & Cie., Düsseldorf,* (6 d. Gr.) bringen Modelle, Photographien, Zeichnungen und Modelle interessanter Betonausführungen, unter anderem ein in Betrieb setzbares Modell einer ausgeführten Turbinenanlage zur Schau und *F. Schlüter, Dortmund,* (7 d. Gr.) zeigt Photographien und Zeichnungen ausgeführter Bauwerke, Dachkonstruktionen, Ofenhäuser, Gewölbekonstruktionen, Wassertürme, Hochbehälter in Beton- und Monierkonstruktionen.

Gebrüder Huber, Breslau, (15 d. Gr.) führen ein Modell vor, welches eine von dieser Firma im Jahre 1881 auf der Breslauer Schlesischen Gewerbe- und Industrie-Ausstellung erbaute Betonkonstruktion zur Vorführung der Tragfähigkeit von Betonplatten und Gewölbestücken darstellt.

Professor M. Möller, Braunschweig, (16 d. Gr.) zeigt auf einer Wandtafel mit Beton ummantelte Hölzer, welche 5 Jahre lang auf dem Gelände der technischen Hochschule zu Braunschweig eingerammt im Boden gesessen haben und darnach einer Prüfung unterzogen sind; er giebt dazu Zeichnungen und Erläuterungen.

E. Schwenk, Ulm, (17 d. Gr.) stellt ein Aushängeschild der Firma im Relief und in allegorischer Umrahmung aus künstlichem Sandstein aus. Säule, Unterbau aus polierter Granitimitation, Basis und Kapitäl überarbeiteter künstlicher Sandstein, Schaft poliert. Daneben findet sich ein architektonischer Aufbau verschiedenartiger künstlicher Sandsteine, ohne Farbe, nur aus Cement und Sand; darauf genaue Copieen zweier Ritter der ehemaligen freien Reichstadt Ulm (Originale auf dem Rathaus in Ulm von Jörg Syrlin). Verschiedene polierte Gegenstände vervollständigen die Ausstellung.

Die Firma *Carl Brandt, Düsseldorf* bringt interessante Photographieen ausgeführter Betonbauten.

Im Restaurant finden wir noch sehr fein bearbeitete Kunstsandsteinsäulen der *Gelsenkirchener Cementwarenfabrik Ostermann & Cie., Rotthausen.*

Ausser diesen in den Hallen untergebrachten Darbietungen sind auf dem im Freien liegenden, auf dem Lageplan (S. 6) mit einer punktierten Linie umzogenen Ausstellungsgelände noch viele interessante Gruppen angeordnet worden, unter denen besonders auf folgende aufmerksam gemacht sei:

Nördlich, rheinabwärts der Brücke, ist von der Firma *Dyckerhoff & Widmann, Biebrich,* ein Bauwerk errichtet, einen modernen Strassenquerschnitt darstellend, in welchem ein grosses Haubenprofil für Kanal- und Bachwasser, sowie ein Hauptschmutzwasserkanal und kleinere Rohrkanäle verschiedener Art und Ausführung eingebaut sind, wie auch Revisionsschächte, Strassen- und sonstige Sinkkästen nach System Geiger und anderen. Das grosse Profil stellt die unter dem neuen Bahnhofsgelände Wiesbaden ausgeführte, ca. 1700 m lange Salzbach-Ueberwölbung dar. Der mit Thonsohlsteinen und Klinkerausrollung in dem unteren Teil versehene Kanal ist parallel dieser Bachüberwölbung ausgeführt und bringt die sämtlichen Schmutzwässer der Stadt Wiesbaden zur Kläranlage. In demselben Bauwerk sind Kabelkanäle und Kabelschutzsteine der Firma *Wayss & Freytag* und Strassen- und Hofsinkkästen nach System Unna und drehbarer Reinigungsklappe von *Hüser & Cie.* untergebracht, von letzterer Firma auch ein Ovalrohr mit innerem säurefestem Asphaltfutter.

Die Fahrbahn der Brücke in der Breite von 13,50 m ist nach dem Jantzenschen Patent No. 99471 von der Firma *Grabower Cementstein-Fabrik „Comet", G. m. b. H., Stettin,* hergestellt. Aus dem sichtbaren Profil ergiebt sich, dass sich über einer Entwässerungsschicht von 10 cm Dicke eine Tragschicht aus magerem Beton von 15 cm Dicke befindet. Auf diese Tragschicht ist der eigentliche Stern-Cement-Macadam 6 cm dick mittelst des gleichfalls ausgestellten Jantzenschen Apparates durch seitliches Stampfen aufgebracht.

Die Bürgersteige zu beiden Seiten des Macadams sind mit Kunstgranitfliesen der Grabower Cementsteinfabrik belegt.

Diese auf besonderen Maschinen hergestellten Fliesen sind von ausserordentlicher Haltbarkeit, die dem wirklichen Granit nicht nachsteht, weil in ihrer Oberfläche Granit in allerreichstem Masse angewendet ist. Die eine Seite des Bürgersteiges ist mit geschliffenen, die andere mit ungeschliffenen Platten, 25 cm im Quadrat, 5 cm dick, belegt. Von den Einzelausstellungen südlich der Brücke, also rheinaufwärts, seien folgende aufgeführt:

Carstanjen & Cie., Duisburg. Cementrohre mit und ohne Eiseneinlage, und Cementrohre D. R. P. 118891 in den Kreisprofilen

1500 mm bis herab zu 75 mm Durchmesser, Eiprofilen 1000/1500 mm bis herab zu 200/300 mm. Cementrohre mit Asphaltfutter für säurehaltige Abwässer. Cementplatten, grau, farbig, glatt, gekuppt, gemustert, hydraulisch unter Druck von 250000 kg gepresst. Platte handgeschlagene Cementtreppenstufen, glatt und profiliert, in Kunstsandstein, Terrazzo und Granito. Spülsteine und Kaminsteine in verschiedenen Grössen, ohne und mit Mauerverband. Sohlsteine und Einlaufstücke für Mauerkanäle. Façadensteine, naturfarbig und bunt. Sodann aus eigener Baggerei und Separation Proben von gewaschenem Material: Cementputzsand, Asphaltkies, Gartenkies, Betonkies und Rollkies.

Neuhaus & Lambart, Hagen. Thonstein- und Lüftungsrohre aus hohlen Körpern mit Bindern System Perle, D. R. P. 71968. Cementrohre mit Eiseneinlagen gestampft, System O. Neuhaus, D. R. P. 126177, und sonstige Cementwaren.

F. M. Dalhoff, Borghorst. Pavillon aus Cementrohren auf Sockel aus Kunstsandstein mit Belag von geschliffenen und polierten Cementplatten. Cementrohre mit Eiseneinlagen mit und ohne Asphaltfutter. Zerlegbarer Kanal für Leitungen der Zugdrähte bei Eisenbahnen von der Centralweichenstation zu den einzelnen Weichen. 10 m lange Telegraphenstange aus armiertem Beton, hohl, usw.

J. Brenzinger & Cie., Freiburg i. Br. Zusammenstellung dekorativer Kunststeinstücke in verschiedenen Steinarten, darunter Postamente mit Vasen, eine Plakatsäule, ein Brunnenstock, mehrere Baluster, ein Balkonträger, etwa 10 verschiedene Füllungen, zwei Hermen, Konsolen u. dergl. Ferner eine Anzahl Güsse aus früherer Zeit, die schon seit 15 – 20 Jahren im Freien lagern und an denen die Witterungseinflüsse erkennbar sind.

Aktiengesellschaft für Beton- und Monierbau, Berlin. Koenensche Voutenplatte auf Betonmauern mit einem zweiseitig eingespannten Mittelfelde, welches sich 6,00 m freiträgt und mit einseitig eingespannten Seitenfeldern von 4,50 m Stützweite. Die Platten besitzen eine gleichmässige Stärke von 16 cm und tragen pavillonartige Beton-Aufbauten mit einem Gesamtgewicht von rund 80000 kg. Die

Decke des mittleren Aufbaues ist als Koenensche Plandecke hergestellt. Die Unterdecke, welche aus Rohrung und Putz, Drahtgewebe mit Putz, Gipsdielen usw. bestehen kann, ist nicht fertiggestellt, um die Beschaffenheit der Konstruktion zu zeigen.

An den Wänden der Aufbauten hängen eine grössere Anzahl Photographieen von im Hoch- und Tiefbau seitens der Ausstellerin hergestellter Beton- und Cementeisen-Ausführungen.

Dyckerhoff & Widmann, Biebrich a. Rh. gemeinsam mit *Gebrüder Huber, Breslau.* Filter-Anlage für Reinigung und Erhärtung von Wässern und Abwässern nach System Schlichter D. R. P. No. 130051, das System besitzt grosse Vorzüge, gegenüber den bis jetzt bekannten Verfahren zur Erzielung gleicher Zwecke, ist namentlich einfach und billig.

In einer seit 5/4 Jahren bestehenden Anlage wird ein sehr schmutziges Bachwasser so gereinigt und von 19 Härtegraden auf ca. 3 – 4 Härtegrade herabgebracht, dass das gereinigte Wasser vorteilhaft für den Gebrauch einer Spinnerei und Färberei verwendet werden kann.

Dyckerhoff & Widmann, Biebrich a. Rh. Eggert'sche Decke mit abgestuften Eiseneinlagen. Die Decke setzt sich zusammen aus einer unteren gemauerten Schicht, in welche dünne Eisenstäbe eingebettet werden und einer oberen Schicht aus Stampfbeton, und kann als Balken auf 2 Stützpunkten, als continuirlicher Träger, als Freiträger, zu Balkonen und freitragenden Treppen, als Sichelträger, zu gewölbten Decken und in ähnlicher Weise angewandt werden. Ein notwendiges Hülfsmittel sind nur die eigens geformten Deckensteine. Dieselbe Firma führt ferner Röhren mit und ohne Thonschalen- und Platten-Auskleidung, mit und ohne besonderen Sohlenüberzug, Kanalstücke, Bauornamente und dgl. mehr vor.

Hüser & Co., Obercassel Sgkr. Cementwaren aller Art, Bauwerksteine verschiedener Färbung und Bearbeitung. Kabelrohre nach besonderem Verfahren mit einem glatten inneren Asphaltfutter versehen. Cementrohre mit innerem säurefesten Asphaltfutter. Dünnwandige Cementrohre ohne Eiseneinlagen mit und ohne Asphaltfutter. Keilrohre D. R. G. M. No. 106547 zur Verwendung unter Anschüttungen, Dämmen und Halden bei hohem Druck geeignet. Granitoidwaren, Stufen, Badewannen, Platten. Ventilationshüte aus Beton für Wasserbehälter usw.

Der Ausstellung der Beton-Baufirmen und Cementwarenfabriken haben sich eine Reihe von Maschinenfabriken angeschlossen, die der Betonindustrie dienen und ebenfalls einzeln aufgeführt seien.

Maschinenfabrik „Rhein und Lahn", Gauhe, Gockel & Cie., Oberlahnstein a. Rh. Beton-Mischmaschine No. 10 für 750 l Füllung, 30 cbm stündl. Leistung, fahrbar, mit Hebewerk, selbstthätigem Entleerungsschieber, Wendeschaufeln, centralem Vorfüll-

trichter, Abstreifer im Trommelinnern, für Trocken- und Nassmischung, mit doppelter selbstthätiger Wasserabmessung.

Beton-Mischmaschine No. 7 für 100 l Füllung, 4 cbm stündlicher Leistung, fahrbar, mit selbstthätigem Entleerungsschieber, Wendeschaufeln, Vorfülltrichter, Abstreifer im Trommelinnern, für Trocken- und Nassmischung, mit selbstthätiger Wasserabmessung.

Kugelmischmaschine No. 13 für 100 l Füllung, 2 cbm stündl. Leistung, stationär, mit Vorfülltrichter, selbstthätigem Verschlussdeckel und Rost, für Trocken- und Nassmischung von feinem Stampfbeton und Cementmörtel.

Beton-Mischmaschine No. 5a, Cylinder-System für kontinuirlichen Durchgang des Mischgutes, mit Abmessvorrichtung am Fülltrichter, für Trocken- und Nassmischung.

Beton-Mischmaschine No. 2 fahrbar für kontinuirlichen Betrieb, mischt anfänglich trocken, dann unter Zusatz von Wasser.

Alfr. Kunz, Kempten, Mischmaschinen hergestellt von dem Königl. Hüttenwerk Sonthofen Allgäu. Beton-Mischmaschine mit einer lose auf einer Achse steckenden Mischtrommel. Auf der Achse Mischarme, die an ihren Enden bewegliche Schaufeln tragen. Die Mischtrommel, oben offen, wird durch Riegel festgehalten, bis die Materialien genügend gemischt sind, dreht sich dann mit ihrer Oeffnung nach unten, wo sie festgebremst wird. Durch Nachlassen der Bremse geht die Trommel selbstthätig zurück.

Beton-Mischmaschine neueren Systems mit zwei mit Rührarmen versehenen Wellen, die in einer Trommel in entgegengesetzter Richtung rotieren. Die Trommel in Form zweier Cylindersegmente besitzt dachförmige Verschlussklappe zum Entleeren.

Beyer & Zetzsche, Maschinenfabrik, Plauen i. Voigtl. Mischmaschine Patent Hüser, D. R. P. No. 95404, nach Art der Pendelmühle. Besonders für Fabrikbetriebe geeignet. Passend für alle Materialien und Steingrössen. Kein toter Raum im Mischkessel. Vorteilhafte Mess- und Einfüllvorrichtung und Entleerung.

Fried. Krupp Grusonwerk zu Magdeburg-Buckau. Mischmaschine mit doppelkonischen Hartgussläufern zur Herstellung von Beton und Mörtel; die Sperrvorrichtungen der Maschine wenden das Material, die Läufer kneten es, die Schüssel ist mit auswechselbaren Harteisenplatten bekleidet. (An der Rückwand des Pavillons der Firma F. Krupp (Essen) ist eine Zusammenstellung von Materialien angebracht, in solche getrennt, welche ohne eingehendere Untersuchung sofort als zu Betonierungszwecken brauchbar und unbrauchbar zu erkennen sind.)

Leipziger Cementindustrie Dr. Gaspary & Cie., Markranstädt b. Leipzig. Cementdachziegel-Maschine „Original 1900" mit Vorrichtung zum Abmessen des Falzmörtels und Aufpressen des

Doppelfalzes sowie darauf hergestellte „Fangfalz-Ziegel“ in Diagonalformat.

Cementdachziegelmaschine „Galopp“ zur Herstellung von Langfalzziegeln, sowie darauf fabrizierte Ziegel.

Federnder Linealspachtel zur Erzielung glatter Putzflächen.

Firstziegelmaschine „Fertig“ und damit erzeugte hochglänzende Firststeine.

Kunststeinpresse „Triplex“ für Handbetrieb mit selbstthät. Mörtelmessung und mechanische Farbaufstreuung, sowie Druckübertragung mit glasharten Stahlrollen. Auf dieser Maschine gepresste Cement-Hartfliesen mit glänzender Marmarafarbschicht für Wand- und Bodenbelag.

Messerschablonen und Matrizen für Thon- und Cementfliesenherstellung.

Sammlung von Sandproben von verschiedenen Teilen der Erde.

Marmarafarben roh und zu Farbflächen verarbeitet.

Sandmauersteine hergestellt auf der Sandmauerstein-Maschine (Handbetrieb) ohne Kesselhärtung.

Photographien versch. Cementverarbeitungs-Maschinen.

Cementwerkzeug-Bauanstalt Nürnberg verschiedene Apparate zur Herstellung von Cementwaren, Dachziegeln, Platten usw.

Augustushütte Drees & Cie., Burgsteinfurt in besonderem Pavillon bedeckt mit Falzziegeln Drees-Victoria und Drees-Excelsior praktische Formen und Maschinen für Cementfabrikation, namentlich Schlagtische zur Herstellung von Falzziegeln.

Eine Sammlung von Rohmaterialien zur Betonbereitung wurde beschickt von nachstehenden Firmen: *Joh. Ch. Stahl,* Kalkwerk in *Rupprechtstegen; Joh. & Jos. Porzner,* Kieslieferanten in *Zapfendorf; Werner Esch,* Kies- und Sandgrubenbesitzer, *Trier; Erste Bayr. Basaltstein Act.-Ges. Bayreuth; Joh. Gg. Ertel,* Dolomitsteinbruch, *Velden a. P.; Bayrische Granitactiengesellschaft, Regensburg; Wilh. Jegel,* Quarzit-Steinbrüche-Besitzer in *Wendelstein; Theodor Schreiber,* Kies- und Sandlieferant, *Penig i. S.; Hoffmann & Söhne,* Wendelsteiner Quarzitwerke, *Wendelstein; Emil Partzch,* Baumeister, *Deuben,* Bezirk Dresden; *Fr. Haussen, Nürnberg* und *Jos. Stoecklein, Bamberg,* Kiesslieferanten; *Dyckerhoff & Widmann, Dresden.*

---

d. Die Ausstellungen der Vereine und Behörden.

Der Verein Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten.

Die Sonderausstellung des Vereins Deutscher Portland-Cement-Fabrikanten beginnt, vom Rhein aus gesehen, rechts anschliessend an die unter dem Bassin mit der grossen Figurengruppe belegene

Restaurationshalle, in einem achteckigen, kuppelartig überwölbten Raume (9 des Grundrisses) von etwa 70 qm Grundfläche. In den 4 nischenartig gestalteten Ecken dieses Raumes sind die typischen natürlichen Rohmaterialien, wie sie in Deutschland zu Portland-Cement verarbeitet werden, aufgebaut, namentlich Kreide und Septarienthon, Muschelkalk und Lias-Schiefer, Pläner Kalk, weisser und brauner Jura. Ueber diesen natürlichen Gebilden erheben sich je 3 grosse Standgefässe mit dem erzeugten Rohmehl, den erbrannten Cementklinkern und dem fertig gemahlenen Cement.

Die Mitte des Raumes nimmt ein Aufbau ein, welcher durch etagenweise übereinander gestellte Cementfässchen die Entwicklung der deutschen Cementindustrie in den Jahren 1874 – 1901 darstellt. Man ersieht aus dieser Zusammenstellung, dass die Produktion der 5 Jahre von 1877 – 1881 mit zusammen 12 850 000 Fass in den 5 Jahren von 1897 – 1901 auf zusammen 95 650 000 Fass gestiegen ist. Darunter befinden sich an beweglichen Rahmen die Fabrikbilder der Firmen, welche zum Zustandekommen der Ausstellung beitrugen.

Die Hinterwand, dem Eingang gegenüber, nimmt das Verzeichnis der dem Verein angehörenden Mitglieder ein, welche sich verpflichtet haben, unter der Bezeichnung Portland-Cement nur ein Produkt ohne jede fremde Beimischung in den Handel zu bringen, diesbezüglich der Kontrole des Vereinsvorstandes unterstehen und berechtigt sind, die Vereinsmarke zu führen (vergl. S. 14). Daneben steht das wohlgelungene Oelbild des Begründers des Vereins und ersten Vorsitzenden Geh. Kommerzienrat Dr. Delbrück †.

In der anstossenden Halle befindet sich die Ausstellung der für die Prüfung der Cemente erforderlichen Apparate und eine Reihe von Probeobjekten, an denen die Art der Prüfung gezeigt wird.

Auf zwei grossen Mitteltischen und zum Teil an den Wänden ringsum sind alle gebräuchlichen Prüfungsapparate und Ausrüstungsgegenstände für Cementlaboratorien zur Schau gebracht. Die grösstenteils von dem chemischen Laboratorium für Thonindustrie in Berlin zur Verfügung gestellten Apparate sind fast alle im Abschnitt II abgebildet und beschrieben, so dass hier eine einfache Aufzählung genügen wird.

Apparate zur Prüfung der Bindezeit.

Emaillebecher, Messer, Glasplatten, Normalnadelapparat nach Vicat nebst Hartgummiringen und Thermometer.

Geräte für die Raumbeständigkeitsprüfung.

Zinkkasten, 45 . 45 cm gross, mit Deckel, um die Proben vor Austrocknung zu schützen, und ein gleicher Kasten ohne Deckel, um die Proben unter Wasser aufzubewahren.

Geräte zur Ermittelung der Feinheit der Mahlung.

Quadratisches Sieb von 900 Maschen, Hebelwage mit Hornschale und Gewichtssatz, kleine Schaufel.

Apparate zur Prüfung auf Zugfestigkeit.

1 Glas Normalsand, eine Wage mit 10 kg Tragfähigkeit und Gewichtssatz, Schaufel, starke Eisenplatte, Fliesspapier, Zugformen, Messcylinder von 100 ccm Inhalt, Normallöffel zum Mischen, 2 Normalspatel 750 g und 1150 g und Glasplatten zum Absetzen der Probekörper. Steinbrücks Mörtelmischer für Maschinenarbeit.

Ein dreifacher Hammerapparat mit der Einspannvorrichtung Martens und Formeinrichtung, bestehend aus Formen aus Gusseisen, Unterlagsplatten, Füllkästen, Formkernen.

Zum Aufbewahren der Probekörper ein Zinkkasten mit Deckel für frische Proben und ein gleicher Kasten ohne Deckel für Proben unter Wasser.

Zum Reinigen der Formen dienen: Schüsseln, Bürsten und Tücher.

Zum Zerreissen der Probekörper sind erforderlich: Ein Normalzugfestigkeitsapparat nach Frühling-Michaelis nebst Schrotzulaufapparat oder ein Apparat Bauart Schopper

Apparate zur Prüfung auf Druckfestigkeit.

Ausser dem Hammerapparat und den angeführten Gegenständen sind erforderlich: Formvorrichtung für Druckwürfel, bestehend aus: Unterlagsplatten, Formen, Füllkasten und Formkern. Eine hydraulische Presse für eine Druckbeanspruchung bis zu 30000 kg, Bauart Amsler-Laffon.

Nicht normenmässige Cementprüfungsapparate.

Prozent-Haar-Hygrometer nach Koppe, Cylinder mit Drahteinlage zum Aufbewahren der Cementkuchen, Bauschingers Tasterapparat zur Bestimmung der Ausdehnung an 10 cm langen Stäben, Schumanns-Volumenometer, Meyers Volumenometer, Erdmengers Volumenometer, Segers Volumenometer zur Bestimmung der Dichte der Probekörper, Bauschingers Schleifmaschine zur Abnutzungsbestimmung, Einlaufapparat zur Bestimmung des Litergewichts von Cement, Normallitermass, schräge Ebene für Litergewicht-Bestimmung, Prüssings Presskuchenform nebst Presse, Michaelis Entformer nebst Formen und Glasplatten, Michaelis Apparat für Biegefestigkeit nebst Formen, um 3 verschiedene Stäbe prüfen zu können nebst Vorrichtung für Dorneintreibung und für Haftfestigkeitsversuche, Tetmajer-Siebmaschine, Frühlings Cementofen, Laboratoriums Kugelmühle für 15 kg und weniger einschl. 12,5 kg Kugeln, Dietrich-Frühlings Kohlensäureapparat.

Der *Deutsche Beton-Verein* hat dieser Ausstellung noch seine Betonpresse (beschrieben im Kapitel II S. 86) und eine vom Regierungsbaumeister Koenen erdachte Röhrenprüfungspresse angeschlossen.

Die hydraulische Röhrenprüfungs-Presse, System Koenen, ist für einen Maximal-Druck von 10000 kg eingerichtet und besteht aus einem eisernen Gestell, in welchem ein Querhaupt mit dem Press-

cylinder in vertikaler Richtung bewegt werden kann. Das Heben und Senken des Presscylinders wird bei Vermeidung von Gegengewichten durch eine Sicherheitswinde, System Stauffer-Megy, bewirkt.

Das Druckverteilungsstück ist mit dem Presskolben durch einen Bolzen gelenkig verbunden und rechtwinklig zum Gestell angeordnet.

Zum Feststellen der Presse in den verschiedenen Höhenlagen dienen Bolzen durch das Querhaupt der Presse und die Pfosten auf beiden Seiten des Gestelles. Als Presspumpe dient eine 2 Cylinderpumpe liegender Anordnung mit senkrechtem Hebel. Der Druck wird an zwei von einander unabhängigen Manometerwerken abgelesen. Zur Prüfung des Manometers ist ausserdem am Presscylinder ein Flansch zum bequemen Anbringen eines Kontrolmanometers vorgesehen. Zur Verbindung zwischen Pumpen und Presscylinder dienen Metall-Hochdruck-Doppelschläuche, welche sich vermöge ihrer Biegsamkeit allen Stellungen des Presscylinders anbequemen. Durch Umtauschen der Anschlusstücke kann jede der beiden Pumpen sowohl mit dem Press- als mit dem Hebecylinder in Verbindung gebracht werden.

Um den jeweiligen Druck auf das zu prüfende Rohr am Manometer ohne weiteres ablesen zu können, hat der Presskolben einen Durchmesser von 120 mm = 113,09 qm Querschnitt. Von diesem Querschnitt kommt die Verbindungsstange zwischen Press- und Hebekolben von 40 mm = 12,56 qcm Querschnitt in Abrechnung und bleibt somit als effect. Kolbenfläche 113,09 – 12,56 = 100,53 qcm.

Da angenommen ist, dass das Eigengewicht des Kolbens durch die Reibungsarbeit der Verbindungsstange und des Scheibenkolbens ausgeglichen ist, so käme bei obigen 100,53 qcm Querschnitt nur noch der Reibungswiderstand in der Kolbenliderung in Betracht. Nach Martens Handbuch der Materialienkunde hat Hick für die Kolbenreibung einen Verlust $< 0{,}5\,\%$ festgestellt.

Bei 100 Atmosphären und 100,53 qcm Kolbenfläche beträgt der mechanische Druck = $100 \cdot 100{,}53 = 10053$ kg, und der effekt. mechanische Druck nach Abzug des Reibungsverlustes = $10053 - \frac{10053 \cdot 0{,}5}{100} = 10002{,}735$ oder rund – 10000 kg bei 100 Atm. hydr. Druck.

Unmittelbar neben der beschriebenen Röhrenpresse befindet sich das Bureau des Vertreters der Vereine, der während der Ausstellung jederzeit zu Auskünften und zur Vorführung der Apparate bereit ist.

Der Verein Deutscher Portland-Cementfabrikanten hat unterhalb der Betonbrücke im Freien noch ein eigenartiges Schaustück errichtet, nämlich eine Pyramide aus Originalcementfässern, jedes geziert mit der Fabrikmarke einer deutschen Cementfabrik. Die Pyramide,

120 Fass zu je 170 kg netto = 20400 kg Portlandcement umschliessend, versinnbildlicht die Erzeugung von deutschem Portlandcement in einer Minute bei 300 Arbeitstagen und Annahme 10stündiger Arbeitszeit.

Die Königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt zu Charlottenburg.

Die Königliche mechanisch-technische Versuchsanstalt zu Charlottenburg hat die Ausstellung der Vereine noch durch eine Anzahl von Apparaten und Schaustücken ergänzt, welche insbesondere die Feinmessung der Formänderungen von Betonkörpern unter Zug, Biegung oder Druck erläutern und auch sonst zur Ergänzung der Ausstellung des Prüfungswesens dienen. An einem kleinen Betongewölbe wird die Anwendung von Rollenapparaten zur Messung der Durchbiegungen an verschiedenen Punkten des Gewölbes unter mittlerer oder seitlich verschobener Last gezeigt. Fünf grosse Wandbilder enthalten photographische Darstellungen von Deckenbelastungen, wie sie ausgeführt werden sollen und wie man sie nicht ausführen soll, von Treppen unter gleichmässig verteilter Last, von Treppenstufen unter Torsionsbeanspruchung, von Zerstörungserscheinungen verschiedener Betonkörper usw. Eine Tafel enthält übersichtlich geordnet die Ergebnisse der Druckversuche mit Kabelrohren.

Ausserdem umfasst diese Gruppe folgende in der mechanischen Werkstatt der Versuchsanstalt ausgeführten Instrumente und Apparate:

Einrichtung zum Messen der Formänderung von Mörtelkörpern unter Porendruck und gleichzeitiger Zug- oder Druckspannung. Ablesung der Längenänderung durch Spiegelapparat Martens. Messung mit Spiegel oder Skala.

Einspannvorrichtung für cylindrische Mörtelkörper, die bei Einwirkung von Porendruck gleichzeitig Zug- und Druckkräften ausgesetzt werden.

Apparat zur Feststellung der Längenänderungen cylindrischer Mörtelkörper unter Einwirkung von Wasserdruck auf die Mantelfläche des Cylinders.

Dreifacher Nadelapparat (Vicat) mit mechanischem Antrieb (Bauart Martens) und elektrischer Auslösung durch die Uhr.

Apparat für die Messung der Längenänderung der Mörtelkörper bei Luft- und Wasserlagerung (Bauart Martens).

Messung der Längenänderung von Betonkörpern beim Erhärten (Einfluss von Wärme und Feuchtigkeit)

a) mit der Mikrometerschraube und elektrischer Anzeige,
b) „ Zeigerwerk,
c) „ Libelle.

Apparat zur Windsichtung mehlfeiner Körper (Bauart Gary-Lindner) und Proben durch Wind gesichteter Bindemittel verschiedener Art.

Apparat zur Bestimmung des spezifischen Gewichtes mahlfeiner Körper (Bauart Erdmenger-Mann, verbessert in der Versuchsanstalt).

Zugfestigkeitsprüfer für Cement- und Mörtelkörper (Bauart Martens) für 600 kg Kraftleistung. Krafterzeugung hydraulisch; Kraftmessung mittelst Messdose und selbstschreibendem Manometer (Bauart Martens) mit sprungweiser Aufzeichnung der Höchstlast.

Druckfestigkeitsprüfer für Cement- und Mörtelkörper (Bauart Martens) für 40 000 kg Kraftleistung. Krafterzeugung hydraulisch; Kraftmessung mittelst Messdose und Manometer (Bauart Martens).

2 Betonbalken mit Vorrichtung zur Messung kleiner Durchbiegungen durch Zeiger (Bauart Martens), und durch Spiegelapparat (Bauart Martens).

Hennebique-Säule mit Vorrichtung zur Messung der Längenänderungen beim Druck- und Knickversuch durch Rollen in Federaufhängung (Bauart Martens).

Cementrohre mit Einrichtung zur Messung der Formänderungen unter Scheiteldruck (eingebaut in die Röhrenpresse).

Die Ausstellung wird ergänzt durch eine Sammlung einschlägiger Fachlitteratur.

Materialprüfungsanstalt an der Königl. Technischen Hochschule Stuttgart.

Die Materialprüfungsanstalt brachte im Zusammenhange folgendes zur Darstellung:

1. Einrichtungen zur Bestimmung der Zugelastizität und Zugfestigkeit von Betonkörpern. Die zur Messung der Dehnungen dienenden Instrumente sind an einem Versuchskörper angebracht, der in die Prüfungsmaschine (für Belastungen bis 50 000 kg) von der Mannheimer Maschinenfabrik Mohr & Federhaff in Mannheim eingebaut ist. Der Kraftmesser ist eine Laufgewichtswage. Die Einspannköpfe sind gemäss der von der Prüfungsanstalt angenommenen Form der Versuchskörper ausgeführt.

Die Instrumente wurden von der Firma Ludwig Tesdorpf in Stuttgart nach den Angaben der Prüfungsanstalt gefertigt. Das Wesentliche der Einrichtung lässt die ausgestellte Zeichnung des Instrumentes erkennen. Besprochen findet sich die Einrichtung in C. Bach, „Elastizität und Festigkeit“, § 8, sowie in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, 1898, S. 35 u. f. Die Messlänge, d. h. diejenige ursprüngliche Strecke, auf welche die Verlängerungen gemessen werden, kann bei dem eingebauten Versuchskörper bis 600 mm gewählt werden.

2. Einrichtungen zur Bestimmung der Druckelastizität und Druckfestigkeit von Betonkörpern.

Die Prüfungsmaschine (für Belastungen bis 150 000 kg) ist von der Maschinenfabrik J. Amsler-Laffon & Sohn in Schaffhausen

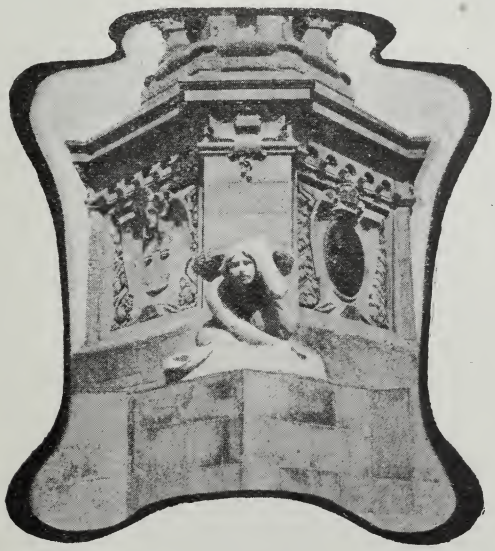
ausgeführt. Die Kraftmessung erfolgt mittelst Kolbenübersetzung durch Quecksilbersäule. Die zur Messung der Zusammendrückungen dienenden Instrumente sind die gleichen wie unter 1 und an dem eingebauten Versuchskörper angebracht.

Dieser Versuchskörper kann die gleiche Form haben wie der in die Zugmaschine eingebaute, in welchem Falle es nur des Versetzens des Körpers mit den angeschraubten Instrumenten von der einen Maschine in die andere bedarf, um von der Ermittelung der Druckelastizität zur Ermittelung der Zugelastizität und umgekehrt an einem und demselben Körper überzugehen.

Soll nur die Druckelastizität bestimmt werden, so genügt es, den Versuchskörper als einfaches Prisma oder einfachen Cylinder herzustellen, wie ein solcher in die Maschine eingebaut ist.

3. Graphische Darstellung der Druckelastizität des Cementmörtels bei verschiedenem Sandzusatz.

Die Ausstellung, über die einen kurzen Ueberblick zu geben in dem vorstehenden Kapitel versucht wurde, umfasst somit das gesamte Arbeitsgebiet der Portland-Cement-Herstellung, -Prüfung und -Verarbeitung, welches noch niemals in so umfangreicher Weise öffentlich zur Darstellung gebracht wurde. Möchte die Ausstellung dazu beitragen, dem ausgezeichneten Baustoff Portland-Cement neue Freunde zu erwerben.



90-B14504

GETTY CENTER LIBRARY
3 3125 00002 1366